جمهوری اسلامی ایران

وزارت صنعت، معدن و تجارت

برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی

شماره ردیف نشریه در انتشارات
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور
۶۲۳

۴۹

انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن
http://www.ime.org.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت
معاونت امور معادن و صنایع معدنی
برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن
http://www.mimt.gov.ir

۱۳۹۲

انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن
(شماره ثبت ۹۹۶۶)

عنوان و نام پدیدآور :	**راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی**/ وزارت صنعت، معدن و تجارت، معاونت امور معادن و صنایع معدنی، برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن؛ [برای] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
مشخصات نشر :	تهران : انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن ایران، ۱۳۹۲
مشخصات ظاهری :	۷۲ ص.: مصور، جدول، نمودار (بخشی رنگی)؛ ۲۲×۲۹ س‌م.
فروست :	انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور؛ ۶۱۸.
	انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن؛ ۴۹.
شابک :	۹۷۸-۶۰۰-۶۴۲۲-۲۳-۷ 978-600-6422-23-7
وضعیت فهرست‌نویسی :	فیپا
یادداشت :	ص.ع. به انگلیسی: Ministry of industry, Mine and trade deputy of mine affairs and mineral industries. Guidelines for selection of mining methods.
موضوع :	معدن و ذخایر معدنی -- صنعت و تجارت
شناسه افزوده :	ایران. وزارت صنایع و معادن. دفتر نظارت و بهره‌برداری. برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن
شناسه افزوده :	ایران. ریاست جمهوری. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور
شناسه افزوده :	انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن ایران.
رده‌بندی کنگره :	HD ۹۵۰۶ ۱۳۹۲ ۲٫۲آ
رده‌بندی دیویی :	۳۳۸/۲
شماره کتابشناسی ملی :	۳۲۵۱۷۱۹

شماره شابک ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۲۲-۲۳-۷ 978-600-6422-23-7

راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی

گردآورنده : برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن— وزارت صنعت، معدن و تجارت

ناشر : انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن

نوبت چاپ : اول

شمارگان : ۱۰۰۰ نسخه

قیمت : ۱۱۵/۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار : پاییز ۱۳۹۲

چاپ و صحافی : **طراحان نصر**

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

وزارت صنعت، معدن و تجارت

تاریخ: ۹۲/۶/۳۱

شماره: ۶/۱۴۷۸۰۶

پیوست: .....

ابلاغیه

به استناد ماده ۱۰۷ آیین‌نامه اجرایی قانون معادن مصوب سال ۱۳۹۲ و بر پایه مفاد ماده ۳۲ قانون نظام مهندسی معدن مصوب سال ۱۳۸۱، تدوین و ترویج اصول و قواعدی که رعایت آن‌ها در طراحی، محاسبه و اجرای عملیات اکتشاف، تجهیز و بهره‌برداری معادن و کارخانه‌ها، بهره‌دهی مناسب فنی و صرفه اقتصادی ضروری است و همچنین بازنگری و تجدید نظر آن‌ها، بر عهده وزارت صنعت، معدن و تجارت است. صاحبان حرفه‌های مهندسی معدن، مکتشفان و بهره‌برداران معادن و کارخانه‌ها اعم از دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمان‌کاران و عوامل دیگر مکلف به رعایت مقررات فنی ابلاغ شده هستند و عدم رعایت آن‌ها تخلف از قانون محسوب می‌شود.

نشریه **راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی** که به استناد مواد قانونی فوق‌الذکر تدوین شده است، توسط معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور نیز با شماره ۶۲۳ در نوبت انتشار قرار دارد.

مقررات موضوع این نشریه به مدت یک سال از زمان انتشار به عنوان آزمایشی تلقی می‌شود. در این فاصله در صورتی که مهندسان و عوامل اجرایی، روش‌ها و دستورالعمل‌های بهتری در اختیار داشته باشند یا نظر اصلاحی درباره هر یک از مفاد آن داشته باشند، لازم است به وزارت صنعت، معدن و تجارت و یا سازمان نظام مهندسی معدن اطلاع دهند تا در صورت لزوم اصلاحیه یا متمم آن تدوین و ابلاغ شود.

با عنایت به مراتب یاد شده این مقررات یا اصلاح و تکمیل شده آن، از تاریخ ۱۳۹۳/۷/۱ لازم‌الاجرا خواهد بود.

وجیه ا... جعفری

معاون امور معادن و صنایع معدنی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل پیشنهاد، مطالعه، طراحی، اجرای طرح‌های اکتشافی، بهره‌برداری و فرآوری مواد معدنی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی، اجرا و هزینه‌های مربوطه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی را در کلیه مراحل انجام عملیات معدنی مورد تاکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب یاد شده، دفتر نظارت و بهره‌برداری وزارت صنعت، معدن و تجارت با همکاری اساتید، صاحب‌نظران، متخصصان، دست‌اندرکاران بخش معدن کشور و با همکاری دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و به استناد ماده ۱۰۷ آیین‌نامه اجرایی قانون معادن، مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران و ماده ۳۲ قانون نظام مهندسی معدن با در نظر داشتن موارد زیر اقدام به تهیه ضوابط، معیارها و دستورالعمل‌های مورد نیاز بخش معدن نموده است:

- استفاده از منابع معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، شرکت‌ها و واحدهای معدنی
- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران بخش‌های خصوصی و دولتی
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسات تهیه‌کننده استاندارد

امید است نشریه **"راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی"** گام موثری در زمینه یکسان‌سازی فعالیت‌های معدنی در کشور باشد. همچنین مجریان و دست‌اندرکاران بخش معدن با به کارگیری این نشریه، در راستای هماهنگ‌سازی و تکامل استانداردها مشارکت نمایند.

شورای عالی برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

مجری طرح

وجیه‌ا... جعفری	معاون امور معادن و صنایع معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقارمضانعلی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
وجیه‌ا... جعفری	کارشناس مهندسی معدن- وزارت صنعت، معدن و تجارت
عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
علیرضا غیاثوند	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان نظام مهندسی معدن

اعضای کارگروه استخراج به ترتیب حروف الفبا

محمد فاروق حسینی	دکترای مهندسی معدن، مکانیک سنگ- دانشگاه تهران
مصطفی شریف‌زاده	دکترای مهندسی مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
کورش شهریار	دکترای مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علی مرتضوی	دکترای مهندسی انفجار، مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

مهدی ایران‌نژاد	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
مصطفی شریف‌زاده	دکترای مهندسی مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علیرضا غیاثوند	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهزاد مهرابی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه تربیت معلم

پیش‌نویس این گزارش توسط آقای **دکتر فرهاد صمیمی‌نمین** تهیه شده و توسط کارگروه استخراج بررسی و تایید شده است و پس از آن به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

مقدمه

معادن یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی هر کشور است و سرمایه‌گذاری در این بخش علاوه بر تاثیر مستقیم در رشد اقتصادی آن کشور باعث توسعه غیر مستقیم سایر زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی نیز می‌شود. به دلیل برخورداری کشورمان از ذخایر معدنی با ارزش و متنوع، سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری در این بخش نیاز به توجه ویژه‌ای دارد. یکی از مهم‌ترین مراحل بهره‌برداری از هر ذخایر معدنی انتخاب روش استخراج آن است. انتخاب روش استخراج یک تصمیم استراتژیک و اساسی به شمار می‌آید که بر مسایل اساسی یک پروژه معدنی تاثیرگذار است. انتخاب صحیح روش استخراج باعث سوددهی بیشتر می‌شود و یک انتخاب نامناسب، سوددهی کم و حتی تعطیلی معدن (ضرردهی) را در پی خواهد داشت. در صورت انتخاب روش استخراج نامناسب، تغییر در روش انتخاب شده در مراحل بعدی ممکن است دشوار و با صرف هزینه‌های اضافی همراه و یا حتی توجیه اقتصادی نداشته باشد.

روش استخراج مناسب هر ذخیره معدنی بر اساس ویژگی‌های آن، مشخصات سنگ میزبان و سایر شرایط جانبی انتخاب می‌شود. معمولا تصمیم‌گیری بر اساس این ویژگی به یک روش استخراج منحصر به فرد منتهی نمی‌شود و باید از میان گزینه‌های مختلف، روش بهینه انتخاب شود. این نشریه با عنوان "**راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی**" با هدف راهنمایی بهره‌برداران ذخایر معدنی تهیه شده است.

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

فصل ۱- رده‌بندی روش‌های استخراج و ارایه شرایط کاربرد آن‌ها..... ۱
۱-۱- آشنایی..... ۳
۱-۲- روش‌های استخراج سطحی..... ۳
۱-۲-۱- روش‌های استخراج مکانیکی..... ۳
۱-۲-۲- روش‌های استخراج با آب..... ۴
۱-۲-۳- مقایسه روش‌های استخراج سطحی..... ۵
۱-۳- روش‌های استخراج زیرزمینی..... ۶
۱-۳-۱- روش‌های بدون نگهداری..... ۶
۱-۳-۲- روش‌های استخراج همراه با نگهداری..... ۷
۱-۳-۳- روش‌های استخراج تخریبی..... ۸
۱-۳-۴- روش‌های ویژه..... ۹
۱-۳-۵- مقایسه روش‌های استخراج زیرزمینی..... ۱۰
فصل ۲- عوامل موثر در انتخاب روش استخراج..... ۱۱
۲-۱- آشنایی..... ۱۳
۲-۲- معیارهای مربوط به مشخصات کانسار..... ۱۳
۲-۲-۱- مشخصه‌های هندسی کانسار..... ۱۴
۲-۲-۲- شرایط زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی..... ۱۶
۲-۲-۳- شرایط ژئومکانیکی..... ۱۶
۲-۲-۴- خواص جانبی کانسار..... ۱۸
۲-۳- معیارهای فنی- اقتصادی..... ۱۸
۲-۳-۱- مشخصات فنی روش‌های استخراج..... ۱۸
۲-۳-۲- مشخصات اقتصادی موثر در انتخاب روش استخراج..... ۲۰
۲-۴- اولویت‌بندی معیارها..... ۲۲
فصل ۳- الگوهای متداول انتخاب روش استخراج..... ۲۳
۳-۱- آشنایی..... ۲۵
۳-۲- الگوهای کیفی..... ۲۵
۳-۲-۱- الگوی پیل..... ۲۵
۳-۲-۲- الگوی باشکوف- رایت..... ۲۵
۳-۲-۳- الگوی موریسون..... ۲۶
۳-۲-۴- الگوی آگاشکف..... ۲۷
۳-۲-۵- الگوی همرین..... ۲۸
۳-۲-۶- الگوی هارتمن..... ۲۹
۳-۳- الگوهای امتیازدهی عددی..... ۲۹
۳-۳-۱- روش نیکلاس..... ۳۰
۳-۳-۲- الگوی نیکلاس اصلاح شده..... ۳۳
۳-۳-۳- الگوی لابشر..... ۳۴

۳-۳-۴- روش دانشگاه بریتیش کلمبیا ۳۶
۳-۳-۵- روش UBC اصلاح شده ۳۹
۳-۴- مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ۳۹
۳-۴-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی ۴۰
۳-۴-۲- روش شباهت به حل ایده‌آل ۴۰
۳-۴-۳- روش تصمیم‌گیری چند معیاره پرامیتی ۴۱
۳-۴-۴- روش یاگر ۴۱
۳-۴-۵- مدل‌های ترکیبی ۴۱
۳-۴-۶- نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری انتخاب روش استخراج ۴۱
۳-۴-۷- سیستم‌های خبره در انتخاب روش استخراج ۴۲
فصل چهارم- ارایه راهنمای انتخاب روش استخراج مناسب برای ذخایر معدنی ایران ۴۳
۴-۱- آشنایی ۴۵
۴-۲- بررسی قابلیت به کارگیری الگوهای رایج انتخاب روش استخراج در ایران ۴۵
۴-۳- الگوی جامع انتخاب روش استخراج ۴۷
۴-۳-۱- راهنمای اولیه انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی ۴۸
۴-۳-۲- الگوی جامع انتخاب روش استخراج ۵۶
پیوست- اعداد فازی ۶۹

فصل ۱

رده‌بندی روش‌های استخراج و ارایه شرایط کاربرد آن‌ها

۱-۱- آشنایی

استخراج ذخایر معدنی شامل دو گروه عمده روش‌های استخراج سطحی و استخراج زیرزمینی است. روش‌هایی که محل استخراج در سطح و یا نزدیکی سطح زمین باشد، روش‌های استخراج سطحی[1] نامیده می‌شوند و بر خلاف روش‌های زیرزمینی در روش‌های استخراج سطحی، عملیات آماده‌سازی و استخراج ماده معدنی در فضای باز انجام می‌شود و محدودیت استفاده از ماشین‌آلات با ظرفیت بالا وجود ندارد.

۱-۲- روش‌های استخراج سطحی

۱-۲-۱- روش‌های استخراج مکانیکی

در این روش‌ها، از انرژی مکانیکی برای استخراج ماده معدنی استفاده می‌شود. استخراج مکانیکی معادن سطحی شامل روش‌های استخراج روباز، نواری، کواری و استخراج با اوگر است. در بین روش‌های یاد شده از نظر میزان تولید و کاربرد دو روش روباز و استخراج نواری در رتبه‌های اول و دوم قرار می‌گیرند. در روش‌های کواری و استخراج با اوگر، شیوه‌های خاصی به کار می‌رود که در مقایسه با دو روش دیگر کاربرد آن‌ها محدودتر است و درصد کمتری از تولید مواد معدنی در دنیا را به خود اختصاص می‌دهند.

الف- استخراج روباز

در روش روباز، از سطح زمین تا دسترسی به کانسنگ، روباره‌برداری شده و پس از دسترسی به کانسنگ، استخراج آن در پله‌ها آغاز می‌شود. روباره برداشته شده در مرحله آماده‌سازی و حاصل از مرحله استخراج، در محل انباشتگاه (دپو) تخلیه می‌شود. عملیات باطله‌برداری و استخراج ماده معدنی بر روی یک یا چند پله عملیاتی انجام می‌گیرد. پله‌ها را تا عمقی از معدن که استخراج مواد معدنی صرفه اقتصادی داشته باشد، طراحی و احداث می‌کنند. استخراج با این روش مستلزم ایجاد پله‌هایی است که در نتیجه آن گودالی به شکل مخروط ناقص معکوس (کاواک[2]) در زمین ایجاد می‌شود. شیب پله‌ها و شیب کاواک با توجه به ملاحظات ایمنی، ژئومکانیکی و اقتصادی تعیین می‌شود. در بیش از ۸۰ درصد معادن روباز برای بارگیری و حمل از شاول و کامیون استفاده شده و ماده منفجره اصلی آنفو است. در معادن روباز چند پله ای، باید به اندازه کافی جبهه‌کار ماده معدنی آماده‌سازی و باز شوند تا امکان تولید بدون وقفه و پیوسته در طول مدت بهره‌برداری وجود داشته باشد.

ب- استخراج نواری

روش نواری (سطح‌برداری) برای استخراج زغال‌سنگ و سایر کانسارهای لایه‌ای نظیر بوکسیت، پتاس و نظایر آن‌ها به کار می‌رود. استخراج ماده معدنی در این روش به صورت برش[3] انجام می‌شود. روباره برداشت شده از هر برش در برش مجاور که قبلا استخراج شده است، ریخته می‌شود. عملیات بارگیری (کندن و برداشتن) و باربری به طور کلی به صورت یک فعالیت واحد و به کمک ماشین‌های بیل چرخشی و یا دراگلاین‌ها انجام می‌شود. به دلیل استفاده از بارگیری و حمل هم‌زمان، این روش بالاترین ظرفیت تولید را دارد و به همراه روش استخراج روباز، یک روش بزرگ‌مقیاس به حساب می‌آید. با توجه به توپوگرافی سطح زمین این

1- Surface mining
2- Pit
3- Box-cut

روش به دو روش مسطحاتی[1] (اگر ماده معدنی در زیر منطقه‌ای با توپوگرافی هموار قرار گرفته باشد) و روش استخراج کنتوری[2] (اگر ماده معدنی در ناحیه کوهستانی واقع شده باشد) تقسیم می‌شود.

پ- استخراج کواری

روش استخراج کواری عمدتا برای استخراج سنگ‌های تزیینی و نما به کار می‌رود. این روش شبیه روش روباز است، با این تفاوت که بر خلاف روش روباز که هدف خرد کردن ماده معدنی است، در این روش ماده معدنی به شکل بلوک‌هایی با ابعاد نسبتا بزرگ و سطوح صاف از کانسار استخراج می‌شوند. به علاوه پله‌ها یا جبهه‌کارها در مقایسه با روش روباز کم ارتفاع‌تر و قائم هستند.

ت- استخراج با اوگر

اگر ادامه استخراج زغال‌سنگ با روش کنتوری اقتصادی نباشد، روش اوگر برای بازیابی بخشی از زغال‌سنگ‌های باقیمانده به کار می‌رود. در این روش، عملیات استخراج از طریق حفر یا ایجاد فضاهایی از رخنمون لایه زغال‌سنگ انجام می‌شود. در استخراج با اوگر روباره منتقل نمی‌شود و زغال‌سنگ به کمک ماشین اوگر که هدایت آن در سطح زمین انجام می‌گیرد، استخراج می‌شود.

۱-۲-۲- روش‌های استخراج با آب

در این روش‌ها، برای استخراج مواد معدنی از آب یا یک حلال مایع و از طریق جریان هیدرولیکی و یا واکنش انحلالی استفاده می‌شود. با وجود محدودیت‌های زیاد در به کارگیری این روش‌ها، به دلیل پایین بودن هزینه نسبی، جذابیت زیادی دارند. روش‌های استخراج با آب شامل استخراج هیدرولیکی و استخراج با شناور (برای کانسارهای پلاسری) و استخراج انحلالی در گمانه‌ها و فروشویی است.

الف- استخراج هیدرولیکی

از روش استخراج هیدرولیکی بیشتر برای استخراج کانسارهای پلاسری استفاده می‌شود. در این روش، جریان آب با فشار معادل ۳ تا ۱۴ اتمسفر بر کانسنگ پلاسری به منظور خرد کردن آن پاشیده شده و سپس مواد معدنی خرد شده به همراه آب در مسیری که قبلا آماده‌سازی شده است، در اثر نیروی ثقل به محل جداسازی و یا کارخانه تغلیظ ارسال می‌شود. در عمل برای افزایش تولید چند آبفشان به طور هم‌زمان به کار می‌رود. شرط اصلی استفاده از این روش وجود آب کافی در منطقه است.

ب- استخراج با شناور

استخراج با شناور، روشی برای استخراج از کانسارهای پلاسری در زیر آب است. در این روش، استخراج معمولا از روی سکوی شناوری انجام می‌گیرد که در آن تجهیزات فرآوری و انتقال باطله نیز قرار دارد. شناورها به دو دسته شناورهای مکانیکی و شناورهای هیدرولیکی تقسیم می‌شوند. این روش یک روش بزرگ‌مقیاس است و ظرفیت تولید آن به دلیل تعداد پرسنل بسیار کم از سایر روش‌های استخراجی بیشتر است.

پ- استخراج انحلالی

امروزه جاذبه‌های تولید کانسنگ با روش استخراج انحلالی به عنوان یک روش استخراج اولیه یا ثانویه افزایش یافته است. هر چند برخی فعالیت‌های آماده‌سازی یا استخراج در این روش‌ها در زیر زمین انجام می‌گیرد، ولی بیشتر عملیات از سطح زمین هدایت و

1- Area mining
2- Contour mining

انجام می‌شود به همین دلیل این روش‌ها در رده روش‌های سطحی قرار می‌گیرند. روش استخراج انحلالی در استخراج کانی‌های قابل حل یا گدازپذیر یا موادی که قابلیت تبدیل به دوغاب را دارند، به کار می‌رود.

ت- فروشویی

فروشویی[1] روش استخراج شیمیایی یا بیوشیمیایی مواد معدنی از کانسنگ برجا و یا مواد خرد و انباشت شده است. فرآیند استحصال ممکن است صرفا شیمیایی و یا بیوشیمیایی باشد. فروشویی به دو صورت برجا و یا فروشویی مواد معدنی استخراج و انباشت شده انجام می‌شود. فروشویی مواد انباشت شده یک روش استخراج ثانویه است که می‌توان آن را در گروه روش‌های فرآوری نیز قرار داد، زیرا در آن عیار نیز افزایش می‌یابد. فروشویی برجا را می‌توان یک روش استخراج ثانویه و یا اولیه محسوب کرد. وقتی که فروشویی بر روی یک کانسار بکر و دست نخورده پس از آماده‌سازی‌ها و آتشباری انجام می‌گیرد در واقع یک روش استخراج اولیه است.

۱-۲-۳- مقایسه روش‌های استخراج سطحی

مقایسه فنی روش‌های استخراج سطحی در جدول ۱-۱ ارایه شده است.

جدول ۱-۱- مقایسه فنی روش‌های سطحی استخراج معادن

روش استخراج	روباز	نواری	کواری	استخراج با اوگر	هیدرولیکی	استخراج با شناور	استخراج انحلالی	فروشویی
نوع ماده معدنی	فلزی- غیرفلزی	زغال‌سنگ- غیرفلزی	سنگ‌های تزیینی و نما	زغال‌سنگ	فلزی- غیرفلزی	فلزی- غیرفلزی	غیرفلزی	فلزی
آهنگ تولید	بالا	بالا	پایین	متوسط	متوسط	بالا	متوسط	متوسط
ظرفیت تولید	زیاد	زیاد	کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
آهنگ آماده‌سازی	سریع	سریع	متوسط	سریع	سریع	متوسط	متوسط	متوسط
عمق استخراج	محدود	محدود	محدود	محدود	محدود	محدود	نامحدود	محدود
امکان استخراج انتخابی	کم	کم	زیاد	کم	متوسط	کم	کم	کم
بازیابی	بالا	بالا	بالا	متوسط	متوسط	بالا	پایین	بسیار پایین
رقیق‌شدگی	متوسط	پایین	پایین	پایین	بالا	بالا	بالا	بسیار پایین
انعطاف‌پذیری	متوسط	متوسط	پایین	بسیار پایین	متوسط	پایین	پایین	پایین
پایداری حفریات	زیاد	زیاد	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط
تاثیرات زیست‌محیطی	زیاد	زیاد	متوسط	کم	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد
انتقال باطله	گسترده	حداقل	متوسط	ناچیز	متوسط	گسترده	کم	ناچیز
ایمنی و بهداشت	خوب	خوب	خوب	خوب	مناسب	خوب	خوب	خوب
سایر موارد	-	-	هزینه برش و دستمزد بالا	استخراج زغال‌سنگ باقی‌مانده	نیاز به آب	محیط دریایی	نیاز به آب	نیاز به آب

1- Leaching

۱-۳- روش‌های استخراج زیرزمینی

در روش‌های زیرزمینی که کلیه عملیات استخراجی در زیر سطح زمین انجام می‌شود، با توجه به اهمیت نگهداری کارگاه استخراج، روش‌های استخراج زیرزمینی را به سه دسته، روش‌های بدون نگهداری، همراه با نگهداری و روش‌های تخریبی تقسیم‌بندی می‌کنند.

۱-۳-۱- روش‌های بدون نگهداری

روش‌های بدون نگهداری آن دسته از روش‌های استخراج زیرزمینی هستند که اساسا خود نگهدارند و نیاز چندانی به سیستم‌های نگهداری مصنوعی ندارند. در برخی از معادن زیرزمینی بدون نگهداری از وسایل نگهدارنده سبک (چوب و پیچ‌سنگ و یا قاب‌های فلزی) به صورت موضعی استفاده می‌شود. مهم‌ترین روش‌های بدون نگهداری عبارتند از:

الف- روش اتاق و پایه

روش اتاق و پایه کلاسیک برای استخراج کانسارهای لایه‌ای شکل افقی و یا تقریبا افقی (شیب کمتر از ۱۵ درجه)، مسطح و کم ضخامت (ضخامت متوسط ۲ تا ۶ متر) به کار می‌رود. در این روش، ذخیره معدنی به چند پهنه تقسیم شده و فضاهای استخراجی به فواصل منظم از یکدیگر احداث می‌شوند. وظیفه اصلی نگهداری فضاهای استخراجی به عهده پایه‌هایی با سطح مقطع مستطیلی یا مربعی از جنس ماده معدنی است. به دلیل شرایط خوب کاری، این روش برای استخراج زیرزمینی زغال‌سنگ، مواد غیرفلزی مختلف و برخی از کانی‌های فلزی در اعماق کم تا متوسط بسیار مناسب است. استخراج با روش اتاق و پایه شامل دو مرحله استخراج اولیه و ثانویه است. در مرحله استخراج اولیه ماده معدنی از اتاق‌ها و میان‌برهای داخل پهنه برداشت می‌شود. در استخراج ثانویه، تا آنجا که ممکن است، پایه‌ها به صورت استخراج پسرو بازیابی می‌شوند.

ب- روش کارگاه و پایه

روش استخراج کارگاه و پایه روش استخراج زیرزمینی متداول ذخایر غیر زغال‌سنگی است. برای اجرای این روش شیب کانسار باید کمتر از ۳۵ درجه و ضخامت آن زیاد باشد. استخراج کارگاه و پایه روشی بدون نگهداری است که طی آن فضاهایی به صورت افقی و بر اساس یک الگوی منظم یا غیر منظم در کانسار احداث شده و از جاگذاری پایه برای نگهداری زمین استفاده می‌شود. عنوان کارگاه و پایه به جای اتاق و پایه هنگامی مطرح است که معدن دو ویژگی از سه ویژگی زیر را داشته باشد:

- شکل و اندازه پایه‌ها نامنظم و یا دارای جانمایی تصادفی
- ضخامت کانسار نسبتا ضخیم تا ضخیم (بیش از ۶ متر)
- کانسار غیر زغال‌سنگی

استخراج کارگاه و پایه در مورد کانسارهای ضخیمی که استخراج آن‌ها در یک مرحله امکان‌پذیر نیست، به صورت پله‌ای کردن (ابتدا استخراج قسمت بالایی و بعد قسمت پایینی) و یا لقمه‌کنی (ابتدا استخراج قسمت پایینی و بعد قسمت بالایی) انجام می‌شود.

پ- روش انباره‌ای

استخراج انباره‌ای یک روش عمدتا بالاسری است که در آن کانسنگ در برش‌هایی افقی استخراج و مواد خرد شده برای نگهداری موقت دیواره‌ها و ایجاد یک سکوی کاری برای پرسنل، در کارگاه باقی گذاشته می‌شود. این روش برای کانسارهای رگه‌ای

با ضخامت ۱ تا ۳۰ متر مناسب است. به دلیل افزایش حجم مواد معدنی پس از خردایش، برای تامین فضای کاری مناسب باید ۳۰ تا ۴۰ درصد آن در خلال هر مرحله انفجار از کارگاه بیرون کشیده شود. مابقی مواد معدنی خرد شده پس از این که کارگاه به بالاترین حد خود رسید، تخلیه می‌شود. این امر مانع از دسترسی به ۶۰ تا ۷۰ درصد کانسنگ تولید شده در حین استخراج کارگاه و منجر به راکد ماندن بخش عمده‌ای از سرمایه است. در روش استخراج انباره‌ای با چال‌های بلند، چال‌های انفجاری از دویل‌های کناری حفر و خرجگذاری می‌شوند. خصوصیات ماده معدنی در روش استخراج انباره‌ای بسیار مهم است. ماده معدنی خرد شده در مدتی که در کارگاه انبار شده است، نباید دارای خاصیت چسبندگی مجدد باشد. همچنین مواد معدنی سولفیدی که دچار خودسوزی می‌شوند را نمی‌توان با این روش استخراج کرد. معمولا اکسایش برخی از مواد معدنی باعث کاهش درصد بازیابی در مرحله تغلیظ می‌شود، لذا روش استخراج انباره‌ای برای این گونه مواد مناسب نیست.

ت- روش استخراج از طبقات فرعی

استخراج از طبقات فرعی یک روش استخراج قائم بالاسری است که برای کانسارهای قائم و یا پرشیب (شیب بیش از ۴۵ ترجیحا بیش از ۶۰ درجه) با ضخامت بیش از ۶ متر و دارای شکل منظم به کار می‌رود. برای کانسارهایی با ضخامت ۶ تا ۲۰ متر کارگاه‌ها موازی امتداد ماده معدنی طراحی شده و اگر ضخامت ۲۰ تا ۵۰ متر باشد، کارگاه‌ها باید عمود بر امتداد ماده معدنی طراحی شوند. کانسارهایی با مقاومت متوسط تا زیاد، مقاومت سنگ بالا تا نسبتا بالا، عدسی یا لایه‌ای، با عیار متوسط و یکنواخت تا نسبتا یکنواخت برای این روش مناسب هستند. از نظر عمق نیز ماده معدنی ممکن است در اعماق متوسط تا زیاد قرار داشته باشد.

۱-۳-۲- روش‌های استخراج همراه با نگهداری

روش‌های استخراج همراه با نگهداری روش‌هایی هستند که در آن‌ها برای تامین پایداری فضاهای استخراج شده و کنترل زمین در سرتاسر معدن میزان قابل توجهی وسایل نگهداری مصنوعی مورد نیاز است. این گروه از روش‌های استخراج زیرزمینی در سنگ‌های با مقاومت ضعیف تا متوسط کاربرد دارند.

الف- روش کندن و آکندن

روش کندن و آکندن (کند و آکند) روش همراه با نگهداری است که کاربرد زیادی دارد. این روش برای کانسارهای رگه‌ای یا لایه‌ای (منظم و نامنظم) نسبتا پرشیب و با ضخامت کم تا متوسط (۲ تا ۳۰ متر) با گسترش نسبتا زیاد مناسب است. معمولا از باطله‌های استخراج شده از کارگاه استخراج و یا آماده‌سازی راهروها و یا باطله‌های کارخانه فرآوری به عنوان مواد پرکننده استفاده می شود. در این روش که به طور معمول یک روش استخراج بالاسری است، ماده معدنی به صورت برش‌هایی افقی در کارگاه، استخراج شده و به جای آن باطله یا مواد پرکننده ریخته می‌شود. پر کردن در این روش کاملا با عملیات و چرخه استخراج وابسته است و فعالیت مستقلی نیست. گزینه‌های مشتق از این روش به همراه مواد پرکننده سیمانی در شرایط بسیار ضعیف کانسنگ و دیواره‌ها جایگزین روش کرسی‌چینی شده است.

ب- روش استخراج ستونی

روش ستونی یک روش استخراج بالاسری است که در آن برای کنترل سقف از ستون‌های چوبی همراه با وسایل نگهداری ساده به طور تصادفی استفاده می‌شود. کارگاه ستونی پس از استخراج به صورت فضای باز رها شده و یا با مواد خاکریز و باطله پر می‌شود.

استفاده از این روش برای کانسارهای کم ضخامت (کمتر از ۴ متر) با شیب متغیر (۴۵ تا ۵۰ درجه) و یا لایه‌ای با سنگ‌های در برگیرنده نسبتا ضعیف، مناسب است.

پ- روش کرسی‌چینی

روش کرسی‌چینی پرهزینه‌ترین روش در میان روش‌های استخراج است، به همین دلیل کمترین کاربرد را دارد. در این روش بلوک‌های کوچکی از کانسنگ استخراج و به جای آن چارچوب‌های منشوری شکلی از چوب (کرسی) که به صورت سازه‌های نگهداری کاملی در آمده‌اند، قرار داده شده و با مواد پرکننده پر می‌شود. این روش، برای هر شکل و هر شیبی از ماده معدنی ترجیحا بالای ۴۵ تا ۵۰ درجه حتی در کانسارهای کم شیب مشروط به اینکه راهروهای عبور مواد دارای شیبی بیش از زاویه قرار سنگ باشند تحت بدترین شرایط زمین کارآیی دارد.

۱-۳-۳- روش‌های استخراج تخریبی

یکی از راه‌های کنترل فضای استخراجی برای ادامه عملیات استخراج زیرزمینی تخریب کمربالا به منظور پر کردن فضای استخراج شده است. روش‌های استخراج تخریبی شامل سه روش جبهه‌کار بلند، تخریب در طبقات فرعی و تخریب توده‌ای است. در این روش‌ها مواد تخریب شده فضای استخراجی را پر کرده و سطحی به عنوان سطح تخریب در زمین و بالای کانسار ایجاد می‌کند. قابلیت تخریب کمربالا مهم‌ترین شرط استفاده از این روش‌ها است.

الف- روش جبهه‌کار بلند

در این روش ماده معدنی به صورت برش‌هایی در امتداد خط مستقیم در طول جبهه‌کار استخراج می‌شود. به منظور ایجاد فضایی ایمن برای عملیات استخراج و حمل، در طول مدت استخراج، جبهه‌کار نگهداری و در فاصله معینی از جبهه‌کار، سقف تخریب می‌شود. این روش برای سنگ‌های سخت و نرم قابل اجرا است. در معادنی با سنگ‌های سخت، از حفاری و آتشباری استفاده شده و از آنجا که ارتفاع کارگاه محدود است معمولا این معادن غیر مکانیزه هستند. استخراج زغال‌سنگ و یا سایر سنگ‌های نرم با این روش را می‌توان به طور کامل مکانیزه کرد. در استخراج مواد نرم نیازی به استفاده از عملیات چالزنی و آتشباری نیست و امکان به کارگیری ماشین‌آلات مکانیزه مختلف از جمله رنده[1] و زغالبر[2] وجود دارد.

ب- روش تخریب در طبقات فرعی

در روش تخریب در طبقات فرعی، جهت استخراج ماده معدنی رو به پایین است و هم‌زمان با پیشروی، سقف تخریب می‌شود. در این روش هر یک از طبقات اصلی به طبقات فرعی تقسیم و استخراج ماده معدنی درون طبقات فرعی انجام شده و کمربالا هم‌زمان در داخل فضای خالی حاصل از استخراج تخریب می‌شود. در استخراج ماده معدنی با این روش، هم‌زمان امکان عملیات در هر یک از طبقات فرعی وجود دارد. مقاومت کانسنگ مناسب برای استخراج با این روش متوسط تا مقاوم و مقاومت کانسنگ از روش‌های بدون نگهداری کمتر و از روش تخریب توده‌ای بیشتر است.

1- Plow
2- Shearer loader

پ- روش تخریب توده‌ای

روش استخراج تخریب توده‌ای کم هزینه‌ترین روش استخراج زیرزمینی است که از جنبه هزینه با روش استخراج روباز برابری می‌کند. از این رو مناسب‌ترین روش استخراج زیرزمینی برای کانسارهای کم عیار و پورفیری است. روش استخراج تخریب توده‌ای یک روش استخراج غیر انتخابی است و امکان جداسازی باطله از ماده معدنی در کارگاه وجود ندارد از این رو استخراج کانسارهایی با توزیع عیار یکنواخت و منظم با این روش اولویت دارد. تخریب توده‌ای عموما برای استخراج کانسارهای توده‌ای یا لایه‌ای ضخیم و نسبتا منظم با شیب زیاد (ترجیحا بیش از ۶۰ درجه، در صورت ضخیم بودن، کانسار ممکن است افقی باشد) و ضخیم (ضخامت بیش از ۳۰ متر) که گسترش جانبی آن زیاد باشد مناسب است. عمق کانسار باید در حدی باشد که فشار روباره از مقاومت سنگ بیشتر شود (در اعماق متوسط بین ۶۰۰ تا ۱۲۰۰متر).

۱-۳-۴- روش‌های ویژه

روش‌های استخراج زیرزمینی که گزینه‌های مختلف روش‌های استخراج زیرزمینی ارایه شده قبلی و یا ترکیبی از آن‌ها هستند به صورت جداگانه در این بخش با عنوان روش‌های ویژه ارایه شده است.

الف- روش پسروی قیفی قائم

این روش در حقیقت گزینه‌ای از روش‌های انباره‌ای و استخراج از طبقات فرعی و ترکیبی از این دو روش است. شیب ماده معدنی در این روش باید بیشتر از زاویه قرار مواد خرد شده باشد تا مواد معدنی خرد شده در اثر نیروی وزن به راحتی از بالا به پایین کارگاه حرکت کنند. این روش یک روش استخراج غیر انتخابی است. آهنگ تولید در روش پسروی قیفی بالا است و ارتفاع انتخاب شده برای کارگاه بستگی به مقاومت ماده معدنی، دقت حفاری و استحکام کمربالای ماده معدنی دارد.

ب- روش برش از بالا

روش برش از بالا یک روش پایین‌رو است که ماده معدنی چالزنی، انفجار و برداشته شده و سنگ‌های باطله کمربالا خود به خود تخریب می‌شوند. در این روش، از نگهداری چوبی استفاده می‌شود و برای جدا کردن باطله، کمربالا و ماده معدنی کف کارگاه را قبل از تخریب و کشیدن ستون‌ها با تخته‌های چوبی، تورهای سیمی و نظایر آن‌ها می‌پوشانند. مصرف چوب در این روش از روش کرسی‌چینی کمتر ولی ظرفیت تولید آن بیشتر است.

پ- روش استخراج با سپر

این روش، یک روش استخراج پایین‌رو است که در آن به منظور محافظت کارکنان از ریزش سنگ‌های سقف از سپرهای مخصوصی استفاده می‌کنند. اسکلت اصلی این سپرها تیرآهن‌هایی با طولی برابر ضخامت لایه است. روی این تیرآهن‌ها را با الوارهای چوبی و تور سیمی می‌پوشانند و با نبشی‌هایی تقویت می‌کنند. این سپر سقف کارگاه را تشکیل می‌دهد. این روش برای استخراج لایه‌هایی با ضخامت ۳/۵ تا ۱۵ متر مناسب است. برای استخراج لایه‌هایی تا ضخامت ۱۰ متر از سپر منفرد و برای ضخامت بیش از ۱۰ متر از سپر مضاعف استفاده می‌شود.

ت- روش جبهه‌کار کوتاه

روش استخراج جبهه‌کار کوتاه از روش استخراج اتاق و پایه مشتق شده است. در روش جبهه‌کار کوتاه همانند روش اتاق و پایه از ماشین استخراج پیوسته استفاده می‌شود و لیکن شکل ظاهری این روش مشابه روش جبهه‌کار بلند است، با این تفاوت که طول

جبهه‌کار در جبهه‌کار کوتاه از جبهه‌کار بلند کمتر است و لذا به نگهداری قدرتی کمتری نیاز دارد و سرمایه‌گذاری آن از روش جبهه‌کار بلند کمتر است. در این روش، کندن ماده معدنی مشابه اتاق و پایه و نگهداری کارگاه مشابه روش جبهه‌کار بلند است. این روش برای ذخایری با ضخامت ۱ تا ۳/۵ متر که حداکثر در عمق ۵۰۰ متری قرار دارند مناسب است.

ث- استخراج هیدرولیکی

منظور از استخراج هیدرولیکی استفاده از جت آب با فشار بالا در استخراج ماده معدنی در فضاهای زیرزمینی است. حمل مواد استخراج شده ممکن است به صورت هیدرولیکی و یا غیر هیدرولیکی باشد. در این روش معمولا یک زیربرش در جبهه‌کار با جت آب ایجاد و سپس برش‌هایی به صورت قائم یا افقی بریده شده که موجب ریزش و یا تخریب جبهه‌کار می‌شود. کندن ماده معدنی با جت آب قابلیت ترکیب با سایر روش‌های استخراج را دارد.

۱-۳-۵- مقایسه روش‌های استخراج زیرزمینی

در جدول ۱-۲ مشخصات فنی روش‌های استخراج زیرزمینی ارایه شده است.

جدول ۱-۲- مقایسه فنی روش‌های زیرزمینی

روش استخراج	اتاق و پایه	کارگاه و پایه	انباره‌ای	استخراج از طبقات فرعی	کندن و آکندن	استخراج ستونی	کرسی‌چینی	جبهه‌کار بلند	تخریب در طبقات فرعی	تخریب توده‌ای
آهنگ تولید	بالا	بالا	متوسط	بالا	متوسط	پایین	پایین	بالا	بالا	بالا
ظرفیت تولید	زیاد	زیاد	کم	زیاد	متوسط	کم	کم	زیاد	متوسط	زیاد
آهنگ آماده‌سازی	سریع	سریع	سریع	متوسط	متوسط	سریع	کند	متوسط	متوسط	کند
عمق استخراج	محدود	محدود	محدود	متوسط	متوسط	محدود	نا محدود	متوسط	متوسط	متوسط
امکان استخراج انتخابی	کم	زیاد	متوسط	کم	زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم	کم
بازیابی	متوسط	متوسط	بالا	متوسط	بالا	بالا	بالا	بالا	بالا	بالا
رقیق‌شدگی	متوسط	پایین	پایین	متوسط	پایین	پایین	پائین	پایین	متوسط	بالا
انعطاف‌پذیری	متوسط	بالا	متوسط	پایین	متوسط	بالا	بالا	پایین	متوسط	پایین
پایداری حفریات	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
نشست	متوسط	کم	کم	کم	کم	متوسط	کم	زیاد	زیاد	زیاد
ایمنی و بهداشت	خوب	خوب	خوب	خوب	متوسط	متوسط	ضعیف	خوب	خوب	خوب
سایر	نشست در صورت بازیابی پایه‌ها- تهویه مناسب	تهویه ضعیف تا نسبتا خوب	کارگر بر	انفجارهای بزرگ- تهویه مناسب	نیاز به پر کردن	کارگربر	کارگربر و مصرف بالای چوب	هزینه بالای انتقال تجهیزات	کنترل نقاط تخلیه	کنترل نقاط تخلیه

فصل ۲

عوامل موثر در انتخاب روش استخراج

۲-۱- آشنایی

در این فصل، معیارهای موثر در انتخاب روش استخراج و ارزیابی آن ارایه شده است. معیارهای موثر در انتخاب روش استخراج به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند. گروه اول معیارهای مرتبط با مشخصات کانسار هستند که از این گروه، می‌توان به شاخص‌های هندسی کانسار از جمله شیب، عمق و نظایر آن اشاره کرد. گروه دیگر از این معیارها مرتبط با ذخیره معدنی نیستند و شرایط محیطی شامل وضعیت تکنولوژی، شرایط اقتصادی و وضعیت بازار را در برمی‌گیرند. هر چند تاثیر عوامل محیطی در بلند مدت خود را نشان می‌دهد، لیکن این موضوع به معنی کم اهمیت‌تر بودن این عوامل نسبت به معیارهای گروه اول نیست. در جدول ۲-۱ الگوهای انتخاب روش استخراج به طور خلاصه ارایه شده است.

جدول ۲-۱- الگوهای انتخاب روش استخراج

نام الگو	معیارهای در نظر گرفته شده	سال
باشکوف و رایت	ضخامت، شکل، شیب، مقاومت ماده معدنی و دیواره‌ها	۱۹۷۳
موریسون	ضخامت ماده معدنی، انباشتگی انرژی کرنشی	۱۹۷۶
لابشر	RQD، فاصله‌داری درزه‌ها، شرایط درزه‌ها ، وضعیت آب‌های زیرزمینی	۱۹۸۱
نیکلاس	شکل، ضخامت، شیب، ضخامت روباره، توزیع عیار، RSS، RQD و مقاومت برشی درزه‌ها برای ماده معدنی، سقف و کف	۱۹۸۱
هارتمن	عمق، مقاومت ماده معدنی و کمرها، هندسی (شکل، شیب، ضخامت و ابعاد)	۱۹۸۷
باندوپادیای و سوبرامانین	اندیس بار نقطه ای، مقاومت فشاری تک محوری، RQD، فاصله‌داری درزه‌ها، شرایط درزه‌ها، شرایط آب زیرزمینی، شرایط کف، گازخیزی (کم، متوسط یا زیاد)، شرایط حفر (برش آسان یا سخت)	۱۹۸۸
ترزوپالاس و موتاگوابا	شکل، ضخامت، شیب، مقاومت ماده معدنی، تولید، قابلیت تخریب، RQD، مقاومت سنگ بکر، فاصله‌داری درزه‌ها، شرایط درزه‌ها، شرایط آب زیرزمینی	۱۹۹۴
روش ارایه شده در دانشگاه بریتیش کلمبیا	شکل، ضخامت، شیب، عمق، توزیع عیار، RMR و RSS ماده معدنی، کمربالا و کمرپایین	۱۹۹۵
روش اصلاحی ارایه شده در دانشگاه بریتیش کلمبیا	شکل، ضخامت، شیب، عمق، توزیع عیار، RMR و RSS ماده معدنی، کمربالا و کمرپایین	۲۰۰۲
یمینگ و همکاران	عیار، شکل، مقاومت ماده معدنی و دیواره‌ها، شیب، هزینه، کارآیی، بازیابی، رقیق شدگی، آهنگ تولید، مصرف مواد ناریه و وسایل نگهداری	۲۰۰۳ ۲۰۰۴
چلبی و همکاران	شکل ذخیره، ضخامت، شیب، عمق، توزیع عیار، RSS و RQD، مقاومت برشی درزه‌ها در ماده معدنی، کمربالا و کمرپایین، سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی، تولید، مرزبندی باطله و ماده معدنی، عیار، نشست، خودسوزی و حضور آب	۲۰۰۳
باشچتین و همکاران	شکل، ضخامت، شیب، عمق، مشخص بودن مرز باطله و ماده معدنی، تاثیر نشست، نگهداری سقف، وضعیت اسکان منطقه، گازخیزی، خوداشتعالی، مقاومت و استحکام ماده معدنی و دیواره‌ها، شرایط آب زیرزمینی، هزینه‌های معدنکاری، هزینه سرمایه‌گذاری، آهنگ تولید، هزینه پرسنلی	۲۰۰۶

RMR: Rock mass rating, RSS: Rock substance strength و RQD: Rock quality designation

۲-۲- معیارهای مربوط به مشخصات کانسار

گروه اول از معیارهای تاثیرگذار در انتخاب روش استخراج، معیارهای مرتبط با مشخصات ماده معدنی هستند. مشخصات تاثیرگذار کانسار در انتخاب روش استخراج عبارت از مشخصات هندسی کانسنگ، شرایط زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی، شرایط ژئومکانیکی و خواص جانبی هستند.

۲-۲-۱- مشخصه‌های هندسی کانسار

مشخصه‌های هندسی عبارت از شکل، ابعاد، ضخامت، شیب و عمق ذخیره معدنی هستند که در تمامی‌الگوهای پیشین ارایه شده برای انتخاب روش استخراج، در نظر گرفته شده‌اند.

الف- شکل

شکل کانسار عامل مهم در انتخاب روش استخراج است. معمولا ذخایر معدنی حجم هایی با شکل هندسی منظم و مشخصی نیستند. برای تشریح شکل می‌توان شکل سه‌بعدی از ذخیره را با ترسیم مقاطع موازی یا متقاطع مدلسازی و برای تفکیک آن‌ها از اصطلاحاتی نظیر لایه‌ای، توده‌ای و نامنظم و نظایر آن استفاده کرد. از نظر شکل، شش نوع کانسار به شرح زیر معرفی شده است:

- کانسارهای توده‌ای:

این کانسارها گسترش افقی (جانبی) و قائم قابل ملاحظه‌ای دارند. به عبارت دیگر تمامی ابعاد کانسار نزدیک به هم هستند. برای این ذخایر معدنی شیب مشخصی را نمی‌توان بیان کرد.

- کانسارهای لایه‌ای:

در این نوع کانسارها ضخامت کانسار در برابر دو بعد دیگر اندک است. اغلب کانسارهای رسوبی مانند زغال‌سنگ و بعضی از کانسارهای تبخیری مانند گچ، نمک و پتاس در این رده قرار دارند.

- کانسارهای رگه‌ای نازک:

رگه‌های نازکی از ماده معدنی با ضخامت کمتر از ۳ متر که معمولا گسترش طولی زیاد دارند و در بین فضاهای باز شده سنگ‌های در برگیرنده نمایان می‌شوند. اکثر کانسارهای فلزی در این رده واقع می‌شوند.

- کانسارهای رگه‌ای ضخیم:

تفاوت این گروه با کانسارهای رگه‌ای نازک در ضخامت آن‌ها است. ضخامت این نوع از کانسارهای رگه‌ای بیشتر از ۳ متر است.

- کانسارهای عدسی شکل:

کانسارهایی که شکل ماده معدنی عدسی شکل است. اغلب کانسارهای کرومیت در ایران عدسی شکل هستند.

- کانسارهای پلاسری:

کانسارهایی که به صورت دانه‌های منفصل در داخل زمینه‌ای از رسوبات (نظیر شن و ماسه) و نظایر آن قرار دارند و معمولا دارای گسترش سطحی زیادی هستند. از جمله کانسارهای پلاسری می‌توان به طلا و پلاتین اشاره کرد.

تقسیم‌بندی خلاصه‌تری نیز برای بیان شکل کانسار در الگوهای امتیازدهی عددی انجام شده است که طی آن مواد معدنی به سه گروه توده‌ای، لایه‌ای و رگه‌ای تقسیم شده است. کانسارهای توده‌ای دارای ابعاد نسبتا بزرگ و تقریبا برابر با یکدیگر هستند. در کانسارهای لایه‌ای بعد ضخامت در برابر دو بعد دیگر ناچیز است و در کانسارهای رگه‌ای نیز ضخامت در برابر ابعاد دیگر کمتر است و تغییرات شدید و نامنظمی در ابعاد آن مشاهده می‌شود. در اکثر الگوهای انتخاب روش استخراج از تقسیم‌بندی دوم استفاده شده است، لذا در این راهنما نیز به کارگیری آن توصیه می‌شود.

ب- ابعاد کانسار

گسترش کانسار را می‌توان با سه بعد طول، عرض و ضخامت بیان کرد. بزرگترین بعد کانسار طول، بعد متوسط عرض و کمترین بعد ضخامت نامیده می‌شود. ابعاد ذخیره معدنی ارتباط مستقیمی با میزان ذخیره و در نتیجه عمر معدن دارد. ضخامت مهم‌ترین بعد موثر در انتخاب روش استخراج است.

پ- شیب ماده معدنی

شیب ماده معدنی یکی از عوامل موثر در انتخاب روش استخراج است. کانسارها را از نظر شیب به سه گروه زیر تقسیم می‌کنند:

- کانسارهای کم شیب (شیب تا ۲۰ درجه)
- کانسارهای با شیب متوسط (شیب ۲۱ تا ۵۰ درجه)
- کانسارهای پرشیب (شیب بیش از ۵۱ درجه)

ت- عمق کانسار

اغلب روش‌های استخراج (حتی روش‌های استخراج زیرزمینی) را در عمق محدودی می‌توان اجرا کرد. به عنوان مثال روش استخراج از طبقات فرعی در اعماق زیاد کاربرد کمتری دارد زیرا در اعماق زیاد، فشار سنگ‌های فوقانی به اندازه‌ای افزایش می‌یابد که بدون نگهداری مناسب به سختی می‌توان از ریزش کمربالا جلوگیری کرد. همچنین امکان استفاده از روش اتاق و پایه در اعماق زیاد وجود ندارد زیرا در این اعماق، با افزایش ابعاد پایه‌ها، مقدار زیادی از ماده معدنی استخراج نشده و بازیابی روش کم می‌شود. در جدول ۲-۲ شرایط مناسب معیارهای هندسی کانسار برای روش‌های سطحی و زیرزمینی مقایسه شده است.

جدول ۲-۲- شرایط مناسب روش‌های استخراج معادن از نظر معیارهای هندسی کانسار

روش استخراج	شکل کانسار	ابعاد کانسار	شیب کانسار	عمق
روباز	هر شکلی (ترجیحا مسطح)	بزرگ، ضخیم	هر شیبی (ترجیحا کم شیب)	کم تا متوسط
نواری	لایه‌ای	بزرگ، ضخامت متوسط	هر شیبی (ترجیحا کم شیب)	کم عمق
کواری	ضخیم‌لایه یا توده‌ای	بزرگ، ضخیم	هر شیبی	کم تا متوسط
استخراج با اوگر	لایه‌ای	گسترش محدود، نازک	کم شیب	کم عمق
هیدرولیکی	لایه‌ای	گسترش محدود، نازک	کم شیب	بسیار کم عمق
استخراج با شناور	لایه‌ای	گسترش متوسط، ضخیم	کم شیب	بسیار کم عمق
استخراج انحلالی در گمانه‌ها	هر شکلی	متوسط تا بزرگ	هر شیبی (ترجیحا کم شیب)	متوسط تا عمیق
فروشویی	توده‌ای یا لایه‌ای ضخیم	هر اندازه‌ای (ترجیحا بزرگ)	پر شیب	کم تا متوسط
اتاق و پایه	لایه‌ای	بزرگ، نازک	کم، ترجیحا افقی	کم تا متوسط
کارگاه و پایه	لایه‌ای یا عدسی شکل	هر اندازه‌ای (ترجیحا بزرگ)، ضخامت متوسط	کم تا متوسط	کم تا متوسط
انباره‌ای	لایه‌ای یا عدسی شکل	بزرگ تا متوسط	نسبتا زیاد	کم تا متوسط
استخراج از طبقات فرعی	لایه‌ای یا عدسی شکل	نسبتا ضخیم تا متوسط	نسبتا زیاد	متوسط
کند و آکند	لایه‌ای منظم تا نامنظم	نازک تا متوسط	متوسط تا نسبتا زیاد	متوسط تا زیاد
استخراج ستونی	لایه‌ای منظم تا نامنظم	نازک	متوسط تا نسبتا زیاد	متوسط
کرسی‌چینی	هر شکلی	هر اندازه‌ای، معمولا کوچک	هر شیبی، ترجیحا زیاد	زیاد
جبهه‌کار بلند	لایه‌ای	گسترش زیاد، بزرگ، نازک	کم، ترجیحا افقی	متوسط تا زیاد
تخریب در طبقات فرعی	لایه‌ای یا توده‌ای	بزرگ، ضخیم	نسبتا زیاد	متوسط
تخریب توده‌ای	لایه‌ای یا توده‌ای	بسیار بزرگ، ضخیم	نسبتا زیاد	متوسط

۲-۲-۲- شرایط زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی

بسیاری از عوامل موثر در انتخاب روش استخراج ذخیره معدنی، با زمین‌شناسی آن ارتباط دارد. توزیع ماده معدنی مورد نظر در داخل کانسار، پیوستگی مناطق کانی‌دار و کانی‌های موجود در این مناطق پارامترهای کانی‌شناسی موثر در انتخاب روش استخراج هستند. این معیارها در انتخاب روش‌های استخراج انتخابی (گزینشی) و یا غیر انتخابی (غیر گزینشی) موثر هستند. به طور مثال در مورد یک کانسار لایه‌ای حاوی لیچه (لایه‌های باطله میان لایه‌های کانسنگ) با توجه به ضخامت لیچه ممکن است انتخاب روشی به صورت برش‌های چند گانه مناسب‌تر به نظر برسد. در مورد یک کانسار بزرگ مس پورفیری با توزیع عیار یکنواخت، روش‌های استخراج غیر انتخابی (توده‌ای) مناسب‌تر است. کانسارهای بدون توزیع عیار یکنواخت که عیارهای بالاتر در قسمت‌های خاصی متمرکز شده است نیاز به روش‌های استخراج با قابلیت انتخابی دارند. ژنز کانسار به عنوان یک شاخص اولیه در انتخاب روش استخراج آن کانسار به کار می‌رود. در کانسارهای گرمابی رگه‌ای با فواصل منظم روش‌های اتاق و پایه و یا کارگاه و پایه مناسب‌ترین روش‌های استخراج محسوب می‌شود. ذخایر رسوبی به ویژه اگر دچار دگرگونی شدید ناحیه‌ای شده باشند، باید با روشی با حداقل فضای باز شده همراه با پایه‌های دایمی استخراج شوند. کانسارهای پلاسری نزدیک سطح زمین معمولا با روش‌های سطحی استخراج می‌شوند و اگر در ذخایر پلاسری عمیق‌تر، استخراج زیرزمینی اقتصادی تشخیص داده شود، به دلیل غیر مقاوم بودن سنگ‌های مجاور، معمولا این ذخایر به بلوک‌های کوچک تقسیم شده و هر بلوک به صورت جداگانه استخراج می‌شود. از دیگر عوامل موثر در انتخاب روش استخراج می‌توان از ساختار زمین‌شناسی نظیر چین‌ها، گسل‌ها، ناپیوستگی‌ها، توده‌های نفوذی و یا صفحاتی نظیر درزه‌ها و هوازدگی مرزی کانسار با سنگ میزبان نام برد. برای مثال اگر کمربالای کانسار دارای شکستگی فراوان باشد، کاربرد روش‌های بدون نگهداری به عنوان یک انتخاب دایمی کنار گذاشته می‌شود و با توجه به ساختار ماده معدنی محتمل‌ترین انتخاب، روش‌های تخریبی است.

یکی از شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج شرایط آب‌زمین‌شناسی منطقه است. شرایط آب‌های سطحی و زیرزمینی از جمله شاخص‌های تاثیرگذار در فرآیند انتخاب روش استخراج ذخایر هستند. وجود جریان پیوسته آب در داخل ناحیه معدنی ممکن است انتخاب روش‌های پرهزینه‌تر نظیر روش کند و آکند را که اجازه کنترل جریان آب را فراهم می‌سازد، الزامی کند.

۲-۲-۳- شرایط ژئومکانیکی

از جمله اطلاعات مورد نیاز در طراحی و پایداری فضای زیرزمینی شاخص‌های ژئومکانیکی هستند. این اطلاعات شامل مقاومت‌های کششی و فشاری، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، زاویه اصطکاک داخلی، نیروی چسبندگی، تخلخل و وزن مخصوص است. تنش‌های برجای مورد نیاز در تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی را می‌توان با آزمون مغزه‌گیری مجدد در گمانه‌ها و یا سایر آزمایش‌های صحرایی به دست آورد. روش‌هایی نظیر کارگاه و پایه و استخراج از طبقات فرعی که فضاهای بزرگی بدون نگهداری دارند، انتخاب درستی برای محیط‌هایی با تنش‌های بالا نیستند. در صورت استفاده از روش‌هایی با فضای استخراجی باز و بدون نگهداری در این محیط‌ها امکان افزایش رقیق‌شدگی ماده معدنی و همچنین فعال شدن سقف تحت شرایط تمرکز تنش‌های بالا وجود خواهد داشت. در صورت انتخاب روش کارگاه و پایه و یا استخراج از طبقات فرعی تحت این شرایط به ناچار باید ارتفاع و طول کارگاه را کاهش داد.

علاوه بر تنش، هر یک از روش‌های استخراج به شرایط خاصی از مقاومت کانسار و کمرها نیاز دارد. روش‌های تخریبی در کانسارهایی با مقاومت متوسط و کمربالای ضعیف تا متوسط و قابل تخریب مناسب‌تر هستند، در حالی که استخراج کانسارهایی با کمربالای مقاوم، با روش‌های بدون نگهداری امکان‌پذیر است. بنابراین مقاومت کانسار و کمرها برای انتخاب روش استخراج باید ارزیابی و تعیین شود. برای این منظور با بررسی مغزه‌های حفاری می‌توان به نتایج مفیدی دست یافت. با این اطلاعات می‌توان وضعیت مقاومتی سنگ‌های سقف و کف و نوع ماده معدنی را مشخص ساخت. تقسیم‌بندی مقاومت که در انتخاب روش استخراج به کار گرفته می‌شود در جدول ۲-۳ ارایه شده‌است.

جدول ۲-۳- تقسیم بندی مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر

وضعیت	مقاومت فشاری تک محوری(MPa)
بسیار مقاوم	بیش از ۲۲۰
مقاوم	۲۲۰- ۱۴۰
متوسط	۱۴۰- ۱۰۰
ضعیف	۱۰۰- ۴۰
بسیار ضعیف	کمتر از ۴۰

شرایط مناسب ژئومکانیکی برای روش‌های استخراج در جدول ۲-۴ ارایه شده‌است.

جدول ۲-۴- شرایط مناسب روش‌های استخراج معادن از نظر معیارهای ژئومکانیکی

روش استخراج	مقاومت کانسنگ	مقاومت سنگ (کمرها)
روباز	هر مقاومتی	هر مقاومتی
نواری	هر مقاومتی	هر مقاومتی
کواری	هر مقاومتی (ساختار سالم)	هر مقاومتی
استخراج با اوگر	ضعیف	ضعیف
هیدرولیکی	ضعیف (بدون قلوه سنگ)	ضعیف
استخراج با شناور	ضعیف	ضعیف
استخراج انحلالی	ضعیف	متراکم- نفوذناپذیر
فروشویی	خرد شده یا قابل تخریب، نفوذپذیر	متراکم- نفوذناپذیر
اتاق و پایه	ضعیف تا متوسط	ضعیف تا متوسط
کارگاه و پایه	متوسط تا مقاوم	متوسط تا مقاوم
انباره‌ای	مقاوم (غیر متراکم)	متوسط تا مقاوم
استخراج از طبقات فرعی	متوسط تا مقاوم	متوسط تا مقاوم
کندن و آکندن	متوسط تا مقاوم	ضعیف تا نسبتا ضعیف
استخراج ستونی	متوسط تا مقاوم	مقاوم تا متوسط
کرسی‌چینی	ضعیف	بسیار ضعیف تا ضعیف
جبهه‌کار بلند	هر مقاومتی	ضعیف تا متوسط
تخریب در طبقات فرعی	متوسط تا مقاوم	ضعیف تا متوسط، تخریب‌پذیر
تخریب توده‌ای	ضعیف تا متوسط	ضعیف تا متوسط

امروزه برای ارزیابی شرایط ژئومکانیکی از رده‌بندی RMR استفاده می‌شود. این رده‌بندی شامل شاخص‌های ژئومکانیکی مانند مقاومت فشاری تک محوری و RQD است. در بیشتر موارد نتایج برداشت‌ها و عملیات اکتشافی برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش استخراج کافی است و نیازی به آزمایش‌های پرهزینه نیست.

۲-۲-۴- خواص جانبی کانسار

وجود گازها، خاصیت خودسوزی، کلوخه‌شوندگی و چسبندگی مجدد ماده معدنی خرد شده، دمای محیط و نظایر آن از عوامل جانبی تاثیرگذار در انتخاب روش استخراج هر کانسار است. اهمیت این معیارها، از این نظر است که اگر بهره‌برداری از یک کانسار از نقطه نظر کلیه معیارها با یک روش استخراج ایده‌آل به نظر برسد و فقط از نظر معیار خواص جانبی مناسب نباشد، ممکن است آن روش کنار گذاشته شود. برای مثال اگر کلیه شرایط برای روش انباره‌ای مناسب ولی ماده معدنی خرد شده خاصیت چسبندگی مجدد داشته باشد، استخراج کانسار با این روش توصیه نمی‌شود. میزان گازخیزی لایه‌های زغال‌سنگی در پسرو یا پیشرو بودن روش استخراج انتخابی موثر است. روش استخراج انباره‌ای و یا روش استخراج پسروی قیفی با انبار ماده معدنی خرد شده در کارگاه استخراج برای کانسارهایی که دارای خاصیت اکسیدشوندگی باشند مخصوصا اگر روش فرآوری آن‌ها فلوتاسیون باشد انتخاب مناسبی نیست. زیرا انبار شدن مواد خرد شده در داخل کارگاه استخراج و اکسایش سطحی آن، بازیابی نهایی کارخانه را کاهش خواهد داد.

۲-۳- معیارهای فنی- اقتصادی

گروه دوم معیارهای تاثیرگذار در انتخاب روش استخراج، معیارهایی هستند که به مشخصات کانسار ارتباطی ندارند و منشا آن‌ها شرایط محیطی، بازار و عوامل مشابه است. این معیارها به دو دسته کلی معیارهای فنی و معیارهای اقتصادی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲-۳-۱- مشخصات فنی روش‌های استخراج

مشخصات فنی روش‌های استخراج عبارت از بازیابی و رقیق‌شدگی، انعطاف‌پذیری، تعداد پرسنل مورد نیاز و سطح مکانیزاسیون، ظرفیت تولید، تاثیرات زیست‌محیطی، آهنگ تولید، آهنگ آماده‌سازی و سایر مشخصات فنی است.

الف- بازیابی و رقیق‌شدگی

بازیابی، یکی از مشخصات فنی روش‌های استخراج است. در روش‌های استخراج مقداری از ماده معدنی باقی می‌ماند و استخراج نمی‌شود. رقیق‌شدگی دیگر مشخصه فنی روش‌های استخراج است که در انتخاب روش تاثیر دارد. رقیق‌شدگی اختلاط ماده معدنی استخراجی با باطله است که باعث افزایش کمی (تناژ) و کاهش کیفی (عیار) محصول استخراجی می‌شود. روش‌های استخراج فله‌ای (توده‌ای) هر چند باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود ولی در عین حال با افزایش رقیق‌شدگی، کاهش عیار محصول را نیز در پی دارد.

ب- انعطاف‌پذیری

از دیگر عوامل فنی موثر در انتخاب روش استخراج انعطاف‌پذیری است. مقصود از انعطاف‌پذیری نحوه مقابله روش‌های استخراج با تغییرات شرایط ژئومکانیکی کانسنگ و کمرها، تغییرات عیار و امکان استخراج انتخابی، تغییر قیمت محصول در بازار، تغییرات شرایط محیط کار نظیر هجوم ناگهانی آب و یا اختلال در تهویه و دیگر شرایط پیش‌بینی نشده است. یکی از شرایط تاثیرگذار بر انعطاف‌پذیری، شرایط ماده معدنی و سنگ‌های در برگیرنده آن است. روش استخراج انعطاف‌پذیر در این شرایط روشی است که با

تغییر شرایط ژئومکانیکی ماده معدنی و سنگ‌های در برگیرنده، بدون تغییرات اساسی در روند تولید، کارآیی داشته باشد. انعطاف‌پذیری از لحاظ شرایط محیط کار نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. به این معنی که روش انعطاف‌پذیر از این نظر، روشی است که با تغییرات شرایط محیط کاری نظیر تغییر در میزان هوای تهویه مورد نیاز و یا تغییر در میزان جریان آب ورودی به کارگاه و موارد مشابه، هماهنگ‌تر باشد و با تغییر شرایط بتوان تغییرات لازم را در آن اعمال کرد.

پ- تعداد پرسنل و سطح مکانیزاسیون

دیگر مشخصه‌های فنی روش‌های استخراج، سطح مکانیزاسیون و یا تعداد پرسنل مورد نیاز است. برخی از روش‌های استخراج به تعداد پرسنل زیادی نیاز دارند. انتخاب این روش‌ها در استان‌های با نیروی کار ارزان ترجیح داده می‌شود. در مقابل روش‌هایی با سطح مکانیزاسیون بالا که هزینه خرید تجهیزات بالایی نیز دارند، در استان‌هایی با نیروی کار گران قیمت و یا محدودیت‌های کاری و یا نیاز به میزان تولید بالا اولویت دارند. اصطلاح مکانیزاسیون، جایگزینی نیروی انسانی و فعالیت های دستی را با ماشین‌های پیشرفته بیان می‌کند.

ت- ظرفیت تولید

ظرفیت تولید میزان ماده معدنی استخراج شده به ازای هر نفر در واحد زمان (تن بر نفر در شیفت) است. این مشخصه از تقسیم تولید هر شیفت به تعداد کارگران درگیر در تولید (مستقیم و یا غیر مستقیم) به دست می‌آید. با توجه به متفاوت بودن شرایط عملیات حتی در معادنی با روش‌های استخراج مشابه، این مقدار متغیر است. در جدول ۲-۵ محدوده ظرفیت تولید برخی از روش‌های استخراج در دنیا ارایه شده است.

جدول ۲-۵- ظرفیت تولید بر حسب تن به ازای هر نفر در شیفت

روش استخراج	ظرفیت تولید (تن بر هر نفر در شیفت)
روباز	۹۰ -۳۶۰
نواری	۴۵۰ -۹۰۰
کواری	-
استخراج با اوگر	۲۲ -۴۵۰
هیدرولیکی	۷۵ -۲۳۰ متر مکعب شن
استخراج با شناور	۱۹۰ -۳۰۰ متر مکعب شن
استخراج انحلالی	-
فروشویی	-
اتاق و پایه	۲۷ -۷۳
کارگاه و پایه	۲۷ -۴۵
تخریب در طبقات فرعی	۱۴-۲۷
تخریب توده ای	۱۴ -۳۶
استخراج از طبقات فرعی	۱۸ -۳۶
کندن و آکندن	۹ -۱۸
انباره‌ای	۴ -۹
کرسی‌چینی	۱ -۳

ث- تاثیرات زیست‌محیطی

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج، توجه به محدودیت‌های زیست‌محیطی و تاثیرات روش‌های استخراج بر محیط زیست است. قوانین مربوط به منابع طبیعی و شرایط هر منطقه در انتخاب روش استخراج تاثیرگذار است. بیشتر روش‌های استخراج زیرزمینی به جز روش‌های تخریبی، این مزیت را دارند که اغتشاش اندکی را در طبیعت به وجود می‌آورند. از لحاظ ایمنی و شرایط کاری نیز روش‌هایی که ایمنی بالا و شرایط کاری مناسبی فراهم می‌سازند، هزینه‌های بیشتری دارند. بر خلاف روش‌های استخراج سطحی، انتشار گرد و غبار و گازهای آلاینده به اتمسفر، تنها محدود به معبر خروجی سیستم تهویه معادن زیرزمینی است. برای جلوگیری از هدایت هوای آلوده به مناطق مسکونی، باید جهت وزش باد در تعیین موقعیت این دهانه‌ها در نظر گرفته شود.

ج- آهنگ تولید

آهنگ تولید ظرفیت تولید معدن در واحد زمان (روزانه یا سالیانه) و معرف مقیاس معدن (کوچک‌مقیاس تا بزرگ‌مقیاس) است. برخی از روش‌های استخراج نظیر روش‌های استخراج کارگاه و پایه و جبهه‌کار بلند در گروه روش‌های بزرگ‌مقیاس و برخی نظیر کندن و آکندن در گروه متوسط و برخی نظیر استخراج کرسی‌چینی در گروه کوچک‌مقیاس قرار می‌گیرند.

چ- آهنگ آماده‌سازی

هر چه آهنگ آماده‌سازی روش استخراج تندتر باشد، در زمان کمتر تعداد کارگاه‌های بیشتری آماده‌سازی می‌شود، بازگشت سرمایه سریع‌تر و انتخاب روش در اولویت است. مدت زمان آماده‌سازی برخی از روش‌های تخریبی، زیاد و در نتیجه دوره زمانی سرمایه‌گذاری نیز طولانی است.

ح- سایر مشخصات فنی

استفاده از جریان ثقلی در تخلیه مواد خرد شده از کارگاه باعث کاهش هزینه‌های بارگیری و افزایش هزینه‌های آماده‌سازی می‌شود و این روش نیاز به سیستم‌های نگهداری مصنوعی دارد که باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود.

۲-۳-۲- مشخصات اقتصادی موثر در انتخاب روش استخراج

اقتصاد عامل تعیین‌کننده در موفقیت یا عدم موفقیت هر طرحی است. از دیدگاه سرمایه‌گذار معمولا اولویت با روش استخراجی است که سریع‌تر به مرحله تولید برسد و زمان بازگشت سرمایه آن کوتاه باشد. لیکن برای مقایسه اقتصادی طرح‌ها و انتخاب روش استخراج بهینه بهترین روش، مقایسه ارزش خالص فعلی آن‌ها است. شاخص‌های اقتصادی موثر در انتخاب روش استخراج عبارت از قیمت فروش، تناژ قابل استخراج ماده معدنی، عیار ماده معدنی، هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های عملیاتی هستند. سه معیار نخست، مشخص‌کننده ارزش ماده معدنی و دو معیار دیگر، تعیین‌کننده هزینه استخراج است که با مشخص بودن آن‌ها سود پروژه به دست می‌آید. روش استخراج انتخاب شده بر کلیه عوامل یاد شده به استثنای قیمت فروش، به طور مستقیم تاثیرگذار است.

الف- ارزش ماده معدنی

پارامترهای تعیین‌کننده ارزش ماده معدنی قیمت محصول، تناژ و عیار است. قیمت فروش ماده معدنی تابع شرایط بازار است. افزایش یا کاهش قیمت ماده معدنی در آینده، باعث اقتصادی و یا غیر اقتصادی شدن استخراج آن می‌شود. این شرایط را با ملاحظه

آماری روند تغییرات قیمت در سال‌های گذشته می‌توان پیش‌بینی کرد. بهتر است که استخراج قسمت‌های پرعیار در سال‌های اولیه عمر معدن انجام شود. بخشی از ذخیره که استخراج آن سودآور است، به عنوان کانسنگ در نظر گرفته می‌شود و تناژ آن در تعیین ارزش ماده معدنی نقش اساسی دارد. معمولا در مورد بسیاری از مواد معدنی مرز مشخصی بین کانسنگ و باطله وجود ندارد. برای تعیین محدوده کانسنگ باید عیار حدی که مشخص‌کننده کمترین عیار قابل استخراج است، مشخص شود. در مورد تاثیر عیار در انتخاب روش استخراج دو نکته مهم را باید در نظر داشت، یکی اینکه با توجه به عیار ماده معدنی روش استخراج و فرآوری آن باید مقرون به صرفه باشد یعنی ارزش ماده معدنی پس از فرآوری باید جوابگوی هزینه‌های صرف شده برای استخراج یک تن کانسنگ و فرآوری آن باشد و دیگر آنکه، از آنجا که اکثرا مواد معدنی پس از استخراج فرآوری می‌شوند، این کار مستلزم داشتن خوراکی با عیار نسبتا ثابت به عنوان ورودی کارخانه فرآوری است. معمولا عیار ماده معدنی در قسمت‌های مختلف کانسار متفاوت است، لذا مواد استخراج شده از نقاط مختلف عیارهای متفاوت دارند و باید به نسبت معین با هم ترکیب شوند تا خوراک کارخانه کانه‌آرایی دارای عیار نسبتا ثابتی باشد. در این حالت روش استخراج باید طوری انتخاب شود که ماده معدنی با عیار مناسب کارخانه، ارسال شود. در جدول ۲-۶ مشخصات عیار مطلوب برای هر یک از روش‌های استخراج ارایه شده است.

جدول ۲-۶- شرایط مناسب روش‌های استخراج معادن از نظر معیارهای عیار و توزیع آن

روش استخراج	عیار کانسنگ	توزیع عیار
روباز	پایین	یکنواخت
نواری	پایین	نسبتا یکنواخت
کواری	عیار اهمیتی ندارد.	یکنواخت
استخراج با آگر	پایین	یکنواخت
هیدرولیکی	بسیار پایین	نسبتا یکنواخت
استخراج با شناور	بسیار پایین	نسبتا یکنواخت
استخراج انحلالی در گمانه‌ها	متوسط	متغیر
فروشویی	بسیار پایین	متغیر
اتاق و پایه	متوسط	نسبتا یکنواخت
کارگاه و پایه	کم تا متوسط	متغیر
انباره‌ای	نسبتا زیاد	یکنواخت
استخراج از طبقات فرعی	متوسط	نسبتا یکنواخت
کندن و آکندن	نسبتا زیاد	متوسط، متغیر
استخراج ستونی	زیاد تا نسبتا زیاد	متوسط، متغیر
کرسی چینی	زیاد	متغیر
جبهه کار بلند	متوسط	یکنواخت
تخریب در طبقات فرعی	متوسط	متوسط
تخریب توده ای	کم	نسبتا یکنواخت

ب- هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی

هزینه از جمله عواملی است که تاثیر قابل توجهی بر انتخاب روش استخراج دارد و انتخاب روش استخراج نیز تاثیر قابل توجهی بر تقدم و تاخر زمان سرمایه‌گذاری و ایجاد درآمد دارد. در انتخاب روش استخراج باید هر دو عامل میزان سرمایه‌گذاری اولیه و

جریان نقدینگی در نظر گرفته شود. ایده‌آل‌ترین روش استخراج، روشی است که کل سرمایه‌گذاری اولیه را قبل از تولید نیاز نداشته باشد.

۲-۴- اولویت‌بندی معیارها

معیارهای موثر در انتخاب روش استخراج به دو دسته معیارهای مربوط به مشخصات کانسار و معیارهای فنی و اقتصادی روش‌های استخراج تقسیم شده‌اند. معیارهای گروه اول شامل معیارهایی هستند که امکان اجرای یک روش استخراج را در کانسار مشخص می‌کنند این معیارها مشخص می‌سازند که کدام یک از روش‌های استخراج قابل اجرا است. در این مرحله یک یا چندین روش استخراج مناسب انتخاب می‌شود. این معیارها شامل مشخصات هندسی (شکل، اندازه، عمق)، شرایط زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی، شرایط ژئومکانیکی و خواص ماده معدنی هستند. در برخی از ذخایر معدنی عواملی وجود دارد که استفاده از برخی از روش‌های استخراج را منتفی می‌سازد. در مرحله بعد روش‌هایی که امکان استخراج کانسار با آن‌ها وجود دارد از لحاظ معیارهای فنی و اقتصادی مقایسه شده و روش بهینه از نظر معیارهای گروه دوم انتخاب می‌شود. انتخاب منطقی روش استخراج هر کانسار در دو مرحله یعنی مرحله اول انتخاب روش‌های قابل کاربرد در کانسار و مرحله بعد انتخاب روش بهینه از میان این روش‌ها است. در این میان از معیار خواص جانبی به عنوان معیار بازدارنده در انتخاب استفاده می‌شود. بدیهی است وزن معیارها در این انتخاب برابر نیست.

فصل ۳

الگوهای متداول انتخاب

روش استخراج

۳-۱- آشنایی

برای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی الگوهای متفاوتی ارایه شده که در سه گروه به شرح زیر طبقه‌بندی شده‌اند:

- الگوهای کیفی
- روش‌های امتیازدهی عددی
- مدل‌های تصمیم‌گیری

۳-۲- الگوهای کیفی

الگوهای اولیه انتخاب روش استخراج بیشتر بر مبنای استفاده از فلوچارت‌ها و یا جداول طبقه‌بندی روش‌های استخراج، پایه‌گذاری شده است. برای تعیین روش استخراج مناسب در این الگو، از مقایسه مشخصات کانسار با شرایط به کارگیری روش‌های استخراجی استفاده می‌شود. در الگوهای کیفی، یک یا گروهی از روش‌های استخراج تحت شرایط مشخصی از ذخیره معدنی (از قبیل شیب، شکل و نظایر آن) معرفی می‌شوند. از جمله این الگوها می‌توان به الگوی پیل[۱] (۱۹۴۱)، باشکوف و رایت[۲] (۱۹۷۳)، موریسون[۳] (۱۹۷۶)، آگاشکف[۴] (۱۹۷۸)، همرین[۵] (۱۹۸۲) و هارتمن[۶] (۱۹۸۷) اشاره کرد.

۳-۲-۱- الگوی پیل

اولین الگو یا راهنمای انتخاب روش استخراج، روشی است که پیل در سال ۱۹۴۱ ارایه کرده است. هر چند از زمان ارایه این الگو مدت زمان زیادی گذشته و در طول این سال‌ها تکنولوژی بهره‌برداری از معادن پیشرفت‌های زیادی کرده است، لیکن نباید از یاد برد که این تقسیم‌بندی، اساس بسیاری از الگوهای ارایه شده بعدی است.

۳-۲-۲- الگوی باشکوف- رایت

باشکوف و رایت (۱۹۷۳) برای انتخاب روش زیرزمینی طبقه‌بندی کیفی دیگری را ارایه کردند. با استفاده از این طبقه‌بندی و معلوم بودن مشخصات کانسار از جمله شیب، ضخامت، مقاومت ماده معدنی و کمربالا و پایین، روش‌های مناسبی که در شرایط مشابه به کار رفته مشخص می‌شود. در جدول ۳-۱ الگوی باشکوف و رایت ارایه شده است.

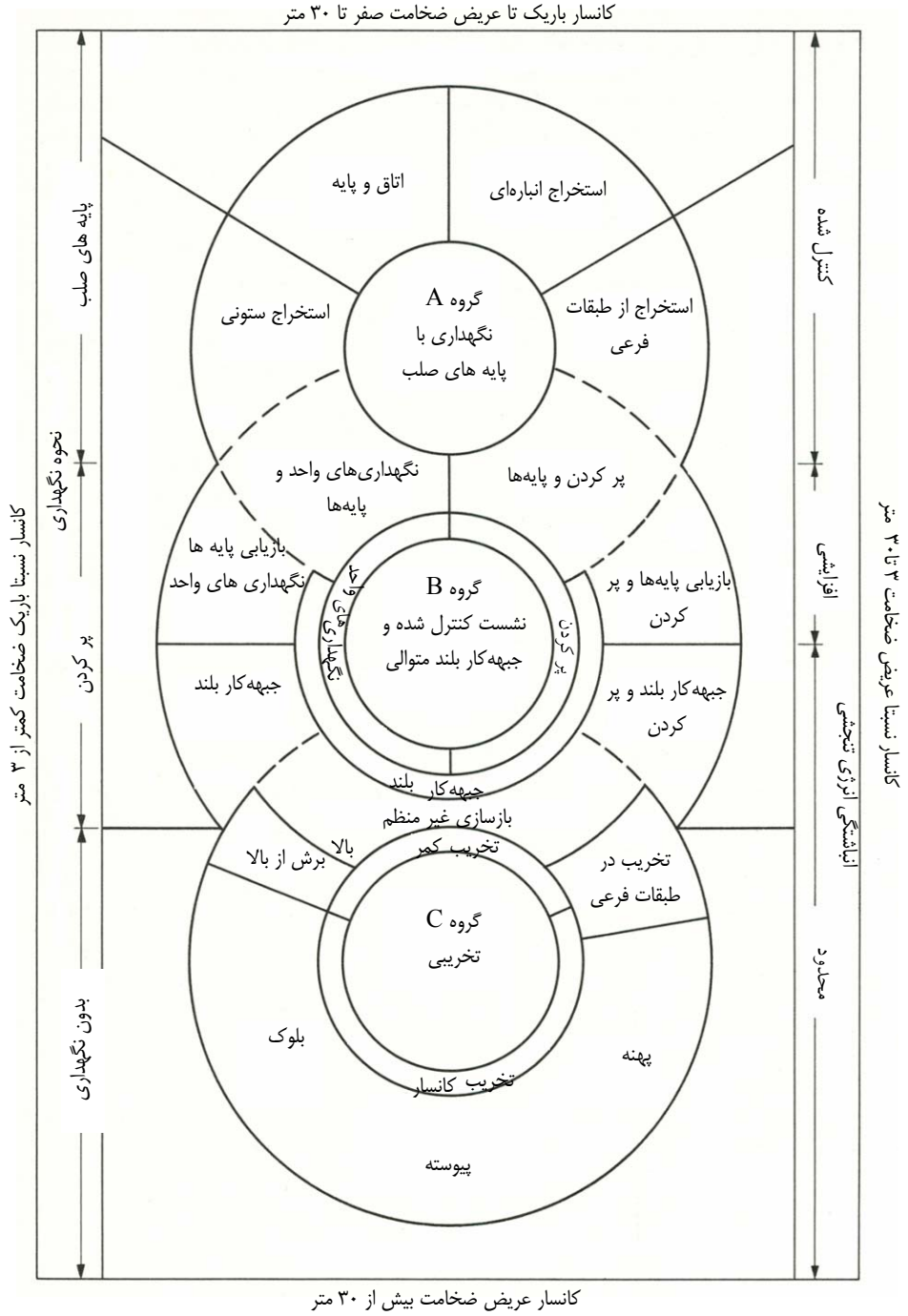
1- Peele
2- Boshkov and Wright
3- Morrison
4- Agoshkov
5- Hamrin
6- Hartman

جدول ۳-۱- الگوی باشکوف و رایت

شکل	شیب	مقاومت کانسنگ	مقاومت کمرها	روش استخراج
لایه‌های نازک	افقی	مقاوم	مقاوم	کارگاه‌های بدون نگهداری با پایه‌های تصادفی، اتاق و پایه، جبهه‌کار بلند
		ضعیف تا مقاوم	ضعیف	جبهه‌کار بلند
لایه‌های ضخیم	افقی	مقاوم	مقاوم	کارگاه‌های بدون نگهداری با پایه‌های تصادفی، اتاق و پایه
		ضعیف تا مقاوم	ضعیف	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی
			مقاوم	روش استخراج قیفی
لایه‌های خیلی ضخیم	افقی	ضعیف تا مقاوم	مقاوم	مشابه کانسارهای توده‌ای
رگه‌های خیلی باریک	شیب‌دار	ضعیف تا مقاوم	ضعیف یا مقاوم	کندن و آکندن با باطله کارگاه
رگه‌های باریک (عرض بیش از طول ستون‌های چوبی نگهداری)	افقی	ضعیف تا مقاوم	ضعیف یا مقاوم	مشابه لایه‌های نازک
	شیب‌دار	مقاوم	مقاوم	کارگاه‌های بدون نگهداری، انباره‌ای، کندن و آکندن
			ضعیف	کندن و آکندن، کرسی‌چینی
		مقاوم	مقاوم	کارگاه‌های بدون نگهداری، کرسی‌چینی
			ضعیف	برش از بالا، کرسی‌چینی
رگه‌های ضخیم	افقی	ضعیف	ضعیف	مشابه لایه‌های نازک
	شیب‌دار	مقاوم	مقاوم	کارگاه‌های بدون نگهداری، روش استخراج قیفی، استخراج از طبقات فرعی، کندن و آکندن، روش‌های ترکیبی
			ضعیف	کندن و آکندن، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، کرسی‌چینی، روش‌های ترکیبی
		ضعیف	مقاوم	کارگاه‌های بدون نگهداری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب بلوکی، کرسی‌چینی و روش‌های ترکیبی
			ضعیف	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، کرسی‌چینی و روش‌های ترکیبی
توده‌ای	–	مقاوم	مقاوم	روش استخراج قیفی، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، تخریب توده ای، کندن و آکندن، روش‌های ترکیبی
		ضعیف	ضعیف یا مقاوم	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده ای، کرسی‌چینی، روش‌های ترکیبی

۳-۲-۳- الگوی موریسون

موریسون (۱۹۷۶) الگویی برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی بر اساس تاثیر پارامترهای ضخامت ماده معدنی، نوع نگهداری و انباشتگی انرژی تنجشی ارایه کرد. بر اساس این پارامترها روش‌های استخراج زیرزمینی در الگوی موریسون به سه گروه اصلی روش‌های نشست کنترل شده، روش‌های استخراج تخریبی و نگهداری با پایه‌های صلب طبقه‌بندی شده است. در شکل ۳-۱ الگوی انتخاب روش استخراج موریسون نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- الگوی موریسون برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی

۳-۲-۴- الگوی آگاشکف

در سال ۱۹۷۸ آگاشکف، روش‌های استخراج زیرزمینی را به هفت گروه اصلی شامل روش‌های کارگاهی بدون نگهداری، انباره‌ای، کارگاه‌های همراه، نگهداری، کندن و آکندن، تخریب سنگ (سقف)، روش‌هایی با تخریب کانسار و سنگ (سقف) و

روش‌های ترکیبی تقسیم کرد. هر یک از این گروه‌ها به زیرگروه‌هایی تقسیم و شرایط به کارگیری هر یک توسط وی ارایه شد. تقسیم‌بندی روش‌های استخراج زیرزمینی توسط آگاشکف در جدول ۳-۲ ارایه شده است.

جدول ۳-۲- تقسیم‌بندی آگاشکف برای روش‌های استخراج زیرزمینی

گروه	شرح	نام زیرگروه
۱	کارگاه‌های بدون نگهداری	روش‌های استخراج زیرپایی
		روش‌های بالاسری
		روش‌های جبهه‌کار بلند
		روش‌های اتاق و پایه
		روش‌های استخراج از طبقات فرعی
		روش‌های اتاق و طبقه[1]
۲	کارگاه‌های انباره‌ای	روش‌های انباره‌ای با آتشباری در کارگاه
		روش‌هایی با فعالیت‌های خاص شکستن[2]
		روش های استخراج با چال‌های بلند
۳	کارگاه‌های همراه نگهداری	نگهداری با ستون‌ها و کرسی‌های چوبی
		روش‌هایی با نگهدارنده‌های سنگی و مرکب[3]
۴	کارگاه‌های کندن و آکندن	کندن با برش‌های افقی و پر کردن
		کندن با برش‌های قائم و پر کردن
		روش‌های بالاسری با پر کردن
		برشی از پایین با پر کردن
		روش‌های جبهه‌کار بلند با پر کردن
		روش‌هایی با نگهداری و پر کردن
۵	روش‌های استخراج با تخریب کمر بالا	روش‌های برشی و تخریبی
		استخراج با سپر
		استخراج پایه با تخریب سقف
۶	روش‌های استخراج با تخریب کانسنگ و کمربالا	تخریب در طبقات فرعی
		استخراج طبقات با تخریب خود به خود
		استخراج طبقات با تخریب القایی
۷	روش‌های ترکیبی	استخراج ترکیبی کارگاه‌های بدون نگهداری اتاق‌ها
		استخراج ترکیبی انباره‌ای اتاق‌ها
		استخراج ترکیبی کارگاهی اتاق و روش‌های پر کردن

۳-۲-۵- الگوی همرین

همرین (۱۹۸۲) در فصلی از کتاب مرجع روش‌های استخراج زیرزمینی مباحثی را در مورد انتخاب روش استخراج زیرزمینی ارایه کرد. بیشتر مطالب وی در مورد شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج بود و الگوی مشخصی برای انتخاب روش استخراج پیشنهاد نشده است. در ارایه بخشی از عوامل موثر در انتخاب روش استخراج که در فصل دوم ارایه شد، به مباحث وی استناد شده است.

1- Room and level systems
2- Systems with breaking from special workings
3- Systems with stone and composite support

۳-۲-۶- الگوی هارتمن

هارتمن (۱۹۸۷) بر اساس شکل کانسار، مشخصات هندسی کانسار و مقاومت ماده معدنی الگویی مشابه طرح باشکوف و رایت پیشنهاد کرد. اختلاف عمده الگوی هارتمن با الگوی باشکوف و رایت در نظر گرفتن روش‌های سطحی علاوه بر روش‌های زیرزمینی است. تقسیم‌بندی هارتمن در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳- الگوی طبقه‌بندی هارتمن

عمق	مقاومت کانسنگ و کمرها	دسته	مشخصات هندسی	روش استخراج
کم عمق (معادن سطحی)	مقاوم و متراکم	مکانیکی	هر شکل، هر شیب، ضخیم و وسیع	روباز
			لایه‌ای یا توده‌ای، هر شیب و ضخامت	کواری
			لایه‌ای، کم عمق، نازک و وسیع	استخراج نواری
			لایه‌ای، افقی، نازک و باقی‌مانده کانسار	استخراج با اوگر
	ضعیف و نامتراکم	هیدرولیکی	لایه‌ای، افقی، نازک و گسترش کم	استخراج هیدرولیکی
			لایه‌ای، افقی، ضخیم و وسیع	استخراج با درج
			هر شکل، هر شیب، ضخیم و وسیع	استخراج گمانه‌ای
			هر شکل، شیب‌دار، ضخیم و وسیع	لیچینگ
عمیق (معادن زیرزمینی)	متوسط تا مقاوم و ایمن	بدون نگهداری	لایه‌ای، افقی، نازک و وسیع	اتاق و پایه
			لایه‌ای، افقی، ضخیم و وسیع	کارگاه و پایه
			لایه‌ای، شیب‌دار، نازک و هر اندازه	انباره‌ای
			لایه‌ای، شیب‌دار، ضخیم و وسیع	استخراج از طبقات فرعی
	ضعیف تا متوسط و ناایمن	با نگهداری	هر شکل، شیب‌دار نازک، هر اندازه	کندن و آکندن
			لایه‌ای، شیب‌دار، نازک، گستردگی کم	استخراج ستونی
			هر شکل و شیب و اندازه، ضخیم	کرسی‌چینی
	ضعیف تا متوسط با قابلیت تخریبی	تخریبی	لایه‌ای، افقی، نازک و وسیع	جبهه‌کار بلند
			لایه‌ای یا توده‌ای، شیب‌دار، ضخیم و وسیع	تخریب در طبقات فرعی
			توده‌ای، شیب‌دار، ضخیم و وسیع	تخریب بلوکی

۳-۳- الگوهای امتیازدهی عددی

اساس روش‌های امتیازدهی عددی، وزن‌دهی به شاخص‌های بیان‌کننده شرایط ذخیره معدنی نظیر عمق، ضخامت، مقاومت و نظایر آن‌ها است. در پایان روشی که مجموع امتیاز مربوط به شاخص‌های مختلف در آن بیشتر شود به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب می‌شود. شاخص‌های موثر در این الگوها به طبقاتی تقسیم شده و برای هر طبقه در هر روش استخراج امتیازی در نظر گرفته شده است. بیشتر بودن مجموع امتیازات پارامترهای موثر در انتخاب روش استخراج برای یک روش نشان دهنده هماهنگی بیشتر آن با شرایط ذخیره است.

۳-۳-۱- روش نیکلاس

اولین الگوی امتیازدهی عددی به وسیله نیکلاس (۱۹۸۱) مطرح شد. در این الگو، ده روش استخراج روباز[1] (OP)، تخریب توده‌ای[2] (BC)، استخراج از طبقات فرعی[3] (SS)، تخریب در طبقات فرعی[4] (SC)، جبهه‌کار بلند[5] (LW)، اتاق و پایه[6] (RP)، انباره‌ای[7] (SH)، کندن و آکندن[8] (CF)، استخراج برش از بالا[9] (TS) و کرسی‌چینی[10] (SQ) (به ترتیب افزایش هزینه‌ها) با یکدیگر مقایسه می‌شود.

شاخص‌های در نظر گرفته شده برای انتخاب روش استخراج، شکل، ضخامت، شیب، نحوه توزیع عیار کانسار، نسبت فشار روباره به مقاومت سنگ (RSS)، فاصله‌داری درزه‌ها (و یا RQD) و مقاومت برشی درزه‌ها است. سه شاخص آخر در مورد سنگ کمربالا، کمرپایین و خود کانسار نیز در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مطلوب و یا نامطلوب بودن هر یک از ویژگی‌های کانسار برای روش‌های استخراج از امتیازهای ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۴۹- استفاده شده است. از امتیاز ۴۹- برای غیر ممکن بودن به کارگیری روش استخراج با توجه به مشخصه مورد نظر استفاده شده است. امتیاز صفر در صورتی استفاده می شود که امکان اجرای روش پیشنهادی با وجود شاخص مورد نظر خیلی کم ولی غیر ممکن نباشد. با این امتیاز شانس به کارگیری روش افزایش پیدا نمی‌کند. در صورتی که استفاده از روش استخراج مورد بررسی با توجه به آن مشخصه امکان‌پذیر باشد امتیاز ۱ یا ۲ منظور می‌شود. امتیازهای ۳ و ۴ نشان دهنده مطلوبیت اجرای روش استخراج با توجه به آن شاخص است. تقسیم‌بندی شاخص‌های هندسی در الگوی نیکلاس در ادامه ارایه شده است. جدول ۳-۴ نشان دهنده امتیاز هر یک از روش‌های مختلف استخراج بر اساس این تقسیم‌بندی است.

الف- ضخامت کانسار:

نیکلاس کانسارها را از نظر ضخامت به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی کرده است:

- نازک، کانسارهای با ضخامت کمتر از ۱۰ متر
- متوسط، کانسارهای با ضخامت ۱۰ تا ۳۰ متر
- ضخیم، کانسارهای با ضخامت ۳۰ تا ۱۰۰ متر
- خیلی ضخیم، کانسارهای با ضخامت بیش از ۱۰۰ متر

ب- شیب کانسار:

از نظر نیکلاس کانسارها به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی شده‌اند:

- کانسارهای کم شیب یا افقی، شیب کمتر از ۲۰ درجه

1- Open pit
2- Block caving
3- Sublevel stoping
4- Sublevel caving
5- Longwall
6- Room and pillar
7- Shrinkage
8- Cut and Fill
9- Top slice
10- Square set

- کانسارهایی با شیب متوسط، شیب بین ۲۰ تا ۵۵ درجه
- کانسارهای پرشیب، شیب بیش از ۵۵ درجه

پ- شکل کانسار:

شکل کانسار در الگوی نیکلاس به سه دسته توده‌ای، لایه‌ای و رگه‌ای یا نامنظم تقسیم شده است.

ت- توزیع عیار در کانسار:

توزیع عیار در کانسار ممکن است به یکی از سه وضعیت زیر باشد:

- یکنواخت
- تغییرات تدریجی و قابل پیش‌بینی
- تغییرات ناگهانی و یا نامنظم و غیر قابل پیش‌بینی

علاوه بر شاخص‌های یاد شده، برای پارامترهای ژئومکانیکی نیز تقسیم‌بندی‌های زیر پیشنهاد شده است:

ث- نسبت مقاومت فشاری تک محوری به فشار سنگ‌های روباره:

در الگوی نیکلاس برای تقسیم‌بندی سنگ‌ها به مقاوم، متوسط و ضعیف از نسبت مقاومت فشاری تک محوری به فشار سنگ‌های روباره (RSS) استفاده شده است. اگر این نسبت از ۸ کمتر باشد به سنگ ضعیف و اگر این نسبت بین ۸ تا ۱۵ باشد متوسط و اگر از ۱۵ بیشتر باشد قوی اطلاق می‌شود.

ج- مقاومت برشی درزه‌ها:

این شاخص به سه گروه زیر تقسیم‌بندی شده است:

- ضعیف، درزه‌هایی تمیز با سطح صاف یا درزه‌هایی پر شده از موادی با مقاومت کمتر از مقاومت توده سنگ اصلی
- متوسط، درزه‌هایی تمیز با سطحی ناصاف
- مقاوم، درزه‌هایی که با موادی با مقاومت مساوی یا بیشتر از توده‌سنگ اصلی پر شده باشد.

چ- فاصله‌داری درزه‌ها:

این شاخص در روش نیکلاس به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی شده است:

- خیلی نزدیک، تعداد درزه‌ها در هر متر بیشتر از ۱۶ عدد و یا RQD=۰-۲۰٪
- نزدیک، تعداد درزه‌ها در هر متر بین ۱۰ تا ۱۶ عدد و یا RQD=۲۰-۴۰٪
- زیاد، تعداد درزه‌ها در هر متر بین ۳ تا ۱۰ عدد و یا RQD=۴۰-۷۰٪
- خیلی زیاد، تعداد درزه‌ها در هر متر کمتر از ۳ عدد و یا RQD=۷۰-۱۰۰٪

در این الگو شاخص‌های ژئومکانیکی یاد شده برای کمربالا، کمرپایین و ماده معدنی جداگانه در نظر گرفته می‌شود. بر اساس تقسیم‌بندی‌های یاد شده امتیاز نیکلاس برای روش‌های مختلف استخراج در جداول ۳-۵ تا ۳-۷ به ترتیب برای توده معدنی و کمربالا و کمرپایین ارایه شده است. مرحله دوم روش نیکلاس بررسی اقتصادی است. در این مرحله هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی معدن برای دو یا چند روشی که در مرحله اول بیشترین امتیاز را آورده‌اند محاسبه می‌شود. در این مرحله مقدار تولید معدن که تابعی از سرمایه‌گذاری، اندازه کانسار و عیار و موقعیت است، نیز به دست می‌آید. در این مرحله از نظر اقتصادی، روش‌های انتخابی اولیه

مقایسه می‌شوند. مرحله سوم بررسی و مقایسه روش‌ها از نظر عملیات اجرایی است. در این مرحله گزینه‌ها از نظر دسترسی به پرسنل ماهر، مصرف انرژی، مقررات زیست‌محیطی، شرایط آب‌زمین‌شناسی مقایسه می‌شوند. مقایسه جنبه‌های زیست‌محیطی شامل محدودیت نشست، آلودگی آب های زیرزمینی، دفع و کنترل باطله و پساب های معدنی و مباحث بازسازی معدن می‌شود. در این الگو روشی برای این مراحل ارایه نشده است.

جدول ۳-۴- امتیاز شاخص‌های هندسی برای هر یک از روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی عددی نیکلاس

شاخص	ضخامت				شیب			شکل			توزیع عیار		
شرح	نازک	متوسط	ضخیم	خیلی ضخیم	افقی	متوسط	پرشیب	توده‌ای	ورقه‌ای	نامنظم	یکنواخت	تغییرات تدریجی	تغییرات ناگهانی
روباز	۲	۳	۴	۴	۳	۳	۴	۳	۲	۳	۳	۳	۳
تخریب توده‌ای	-۴۹	۰	۲	۴	۳	۲	۴	۴	۲	۰	۴	۲	۰
استخراج از طبقات فرعی	۱	۲	۴	۳	۲	۱	۴	۲	۲	۱	۳	۳	۱
تخریب در طبقات فرعی	-۴۹	۰	۴	۴	۱	۱	۴	۳	۴	۱	۴	۲	۰
جبهه‌کار بلند	۴	۰	-۴۹	-۴۹	۴	۰	-۴۹	-۴۹	۴	-۴۹	۴	۲	۰
اتاق و پایه	۴	۲	-۴۹	-۴۹	۴	۱	۰	۰	۴	۲	۳	۳	۳
انباره‌ای	۱	۲	۴	۳	۲	۱	۴	۲	۲	۱	۳	۲	۱
کندن و آکندن	۴	۴	۰	۰	۰	۳	۴	۰	۴	۲	۳	۳	۳
برش از بالا	-۴۹	۰	۳	۴	۴	۱	۲	۳	۳	۰	۴	۲	۰
کرسی‌چینی	۴	۴	۱	۱	۲	۳	۳	۰	۲	۴	۳	۳	۳

جدول ۳-۵- امتیاز RSS برای روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی نیکلاس

RSS	ماده معدنی			کمربالا			کمرپایین		
	ضعیف	متوسط	مقاوم	ضعیف	متوسط	مقاوم	ضعیف	متوسط	مقاوم
روباز	۳	۴	۴	۳	۴	۴	۳	۴	۴
تخریب توده‌ای	۴	۱	۱	۴	۲	۱	۲	۳	۳
استخراج از طبقات فرعی	-۴۹	۳	۴	-۴۹	۳	۴	۰	۲	۴
تخریب در طبقات فرعی	۰	۳	۳	۳	۲	۱	۰	۲	۴
جبهه‌کار بلند	۴	۱	۰	۴	۲	۰	۲	۳	۳
اتاق و پایه	۰	۳	۴	۰	۳	۴	۰	۲	۴
انباره‌ای	۱	۳	۴	۴	۲	۱	۲	۳	۳
کندن و آکندن	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۴	۲	۲
برش از بالا	۲	۳	۳	۴	۲	۱	۲	۳	۳
کرسی‌چینی	۴	۱	۱	۳	۲	۲	۴	۲	۲

جدول ۳-۶- امتیاز مقاومت درزه‌ها برای روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی نیکلاس

مقاومت درزه	ماده معدنی			کمربالا			کمرپایین		
	ضعیف	متوسط	مقاوم	ضعیف	متوسط	مقاوم	ضعیف	متوسط	مقاوم
روباز	۲	۳	۴	۲	۴	۴	۲	۳	۴
تخریب توده‌ای	۴	۳	۰	۴	۳	۰	۱	۳	۳
استخراج از طبقات فرعی	۰	۲	۴	۰	۱	۴	۰	۱	۴
تخریب در طبقات فرعی	۰	۲	۲	۴	۳	۰	۰	۲	۴

ادامه جدول ۳-۶- امتیاز مقاومت درزه‌ها برای روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی نیکلاس

مقاومت درزه	ماده معدنی			کمربالا			کمرپایین		
	ضعیف	متوسط	مقاوم		ضعیف	متوسط	مقاوم		ضعیف
جبهه‌کار بلند	۴	۳	۰	۴	۳	۰	۱	۳	۳
اتاق و پایه	۰	۲	۴	۰	۲	۴	۰	۳	۳
انباره‌ای	۰	۲	۴	۴	۲	۰	۲	۲	۳
کندن و آکندن	۳	۳	۲	۴	۳	۲	۴	۴	
برشی از بالا	۱	۲	۴	۴	۲	۰	۱	۲	۳
کرسی‌چینی	۴	۳	۲	۴	۳	۲	۴	۴	۲

جدول ۳-۷- امتیاز فاصله‌داری درزه‌ها برای هر یک از روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی نیکلاس

فاصله‌داری درزه‌ها	ماده معدنی				کمربالا				کمرپایین			
	خیلی نزدیک	نزدیک	زیاد	خیلی زیاد	خیلی نزدیک	نزدیک	زیاد	خیلی زیاد	خیلی نزدیک	نزدیک	زیاد	خیلی زیاد
روباز	۲	۳	۴	۴	۲	۳	۴	۴	۲	۳	۴	۴
تخریب توده‌ای	۴	۴	۳	۰	۳	۴	۳	۰	۱	۳	۳	۳
استخراج از طبقات فرعی	۰	۰	۱	۴	-۴۹	۰	۱	۴	۰	۰	۲	۴
تخریب در طبقات فرعی	۰	۲	۴	۴	۳	۴	۳	۱	۰	۱	۳	۴
جبهه‌کار بلند	۴	۴	۰	۰	۴	۴	۳	۰	۱	۲	۴	۳
اتاق و پایه	۰	۱	۲	۴	۰	۱	۲	۴	۰	۱	۳	۳
انباره‌ای	۰	۱	۳	۴	۴	۴	۳	۰	۲	۳	۳	۲
کندن و آکندن	۳	۳	۲	۲	۳	۳	۲	۲	۴	۴	۲	۲
برش از بالا	۱	۱	۲	۴	۳	۳	۳	۰	۱	۳	۳	۳
کرسی‌چینی	۴	۴	۲	۱	۳	۳	۲	۲	۴	۴	۲	۲

۳-۳-۲- الگوی نیکلاس اصلاح شده

در الگوی امتیازدهی نیکلاس (۱۹۸۱) وزن تاثیر هر یک از شاخص ها در فرآیند تصمیم‌گیری یکسان در نظر گرفته شده است. در سال ۱۹۹۲ نیکلاس با اعمال ضریب اهمیت برای معیارهای موثر در روش پیشنهادی خود این نقص را تا حدی جبران کرد. وی فاکتور وزنی "یک" را برای هندسه کانسار (شکل، شیب، ضخامت، توزیع عیار کانسار) و فاکتورهای متفاوتی برای خواص ژئومکانیکی (مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت برشی و فاصله‌داری درزه‌های ماده معدنی، کمربالا و کمرپایین) در نظر گرفت. جدول ۳-۸ نشان دهنده تاثیر وزنی هر یک از شاخص‌های هندسی، ژئومکانیکی و توزیع عیار در الگوی نیکلاس اصلاح شده است.

جدول ۳-۸- تاثیر وزنی شاخص‌ها در شرایط مختلف در روش اصلاح شده نیکلاس

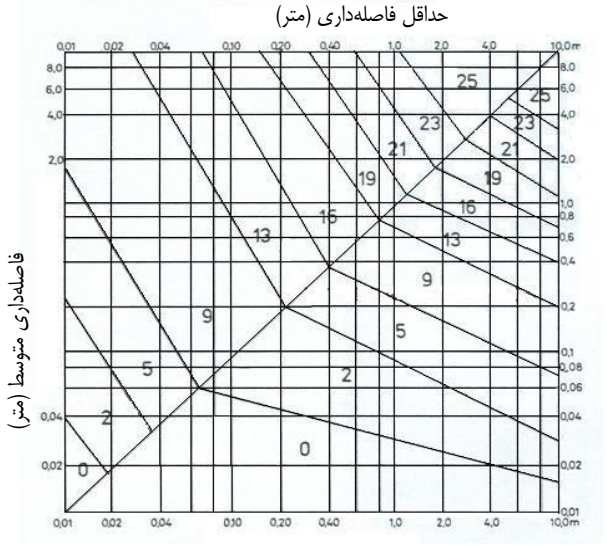
شاخص		ضریب وزنی شاخص		
		گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
هندسی		۱	۱	۱
خواص ژئومکانیکی سنگ	ماده معدنی	۱	۰/۸	۱/۳
	کمربالا	۰/۸	۰/۶	۱/۳
	کمرپایین	۰/۵	۰/۴	۱/۳

۳-۳-۳- الگوی لابشر

در سال ۱۹۸۱ لابشر الگوی امتیازدهی عددی را برای انتخاب روش استخراج تخریبی و تعیین قابلیت تخریب ارایه کـرد. در ایـن شیوه، برای تعیین قابلیت تخریب از پارامترهای درزه‌داری، RQD، فاصله‌داری درزه‌ها، میزان تراکم درزه‌ها، پرشوندگی آن‌ها و وجـود یا نبود آب استفاده شده است. در واقع لابشر دو گروه از شاخص‌ها را به منظور تعیین مشخصات درزه‌ها معرفی کرده است. گـروه اول شامل RQD و فاصله‌داری (یا فرکانس) درزه‌ها و گروه دوم شامل شرایط آب زیرزمینی و مواد پرکننده درزه ها است. به عقیده وی بـر اساس امتیاز حاصل از این دو گروه می‌توان امکان به کار بردن روش‌های تخریبی را بررسی کرد. به منظور مـشخص کـردن قابلیـت تخریب از چهار گروه تخریب آسان، مناسب برای تخریب، تخریب مشکل و استفاده از روش‌های کارگاه باز (بدون نگهداری) اسـتفاده شده است. امتیازدهی در این الگو در شکل‌های ۳-۴ و ۳-۵ و جداول ۳-۹ تا ۳-۱۱ ارایه شده است.

جدول ۳-۹- اساس طبقه‌بندی لابشر

۱	**RQD %**	تا ۳		۴-۱۶	۱۷-۳۰	۳۱-۴۳	۴۴-۵۵	۵۶-۷۰	۷۱-۸۳	۸۴-۹۶	۹۷ -۱۰۰	
	امتیاز [≈(RQD×15)/100]	صفر		۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	
۲	مقاومت فشاری تک محوری I.R.S. (MPa)	تا ۴	۵-۲۴	۲۵-۴۴	۴۵-۶۴	۶۵-۸۴	۸۵-۱۰۴	۱۰۵-۱۲۴	۱۲۵-۱۴۴	۱۴۵-۱۶۴	۱۶۵-۱۸۴	>۱۸۵
	امتیاز (≈0.1×I.R.S.)	صفر	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
۳	**فاصله‌داری درزه‌ها**	رجوع به شکل ۳-۴										
	امتیاز	۰ ---------- ۲۵										
۴	**شرایط درزه‌ها (شامل آب زیرزمینی)**	رجوع به جدول ۳-۱۰										
	امتیاز ($40\times A\times B\times C\times D/10^8$)	۰ ---------- ۴۰										



شکل ۳-۴- امتیازدهی دسته درزه‌ها در الگوی لابشر

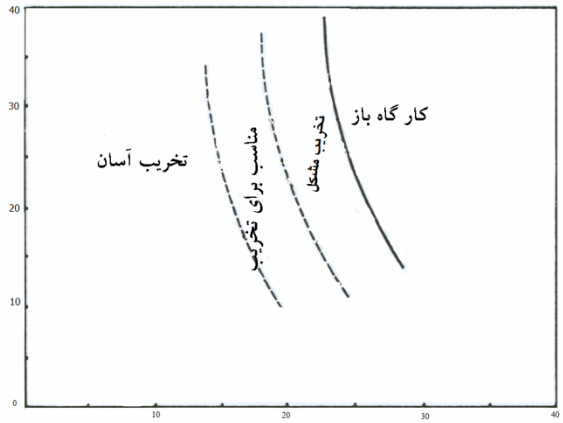
جدول ۳-۱۰- ارزیابی شرایط درزه‌ها در روش لابشر

شاخص	شرح		شرایط آبدار			شرایط خشک
			بیش از ۱۲۵ 1/min	۲۵ تا ۱۲۵ 1/min	کمتر از ۲۵ 1/min	
A توصیف بزرگ‌مقیاس درزه‌ها	موجدار	در یک جهت	۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۰
		در چند جهت	۸۰-۷۵	۹۰-۸۵	۹۵-۹۰	۹۵-۹۰
	خمیده		۷۰-۶۰	۸۰-۷۰	۸۵-۷۵	۸۹-۸۰
	مستقیم		۴۰	۶۰	۷۴-۶۵	۷۹-۷۰
B توصیف کوچک‌مقیاس درزه‌ها	خیلی زبر		۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۰
	زبر یا شیاردار		۷۰	۸۰	۹۹-۸۵	۹۹-۸۵
	صاف		۵۰	۶۰	۸۰-۵۵	۸۴-۶۰
	صیقلی		۲۰	۳۰	۵۰-۴۰	۵۹-۵۰
C هوازدگی دیواره درزه‌ها	مقاومتر از سنگ دیواره		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	بدون هوازدگی		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ضعیف‌تر از سنگ دیواره		۶۰	۶۵	۷۰	۷۵
D مواد پرکننده درزه‌ها	بدون مواد پرکننده (فقط سطح دیواره هوازده شده است)		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	پر شده با مواد زبر	مواد درشت دانه	۵۰	۷۰	۹۰	۹۵
		مواد متوسط دانه	۴۵	۶۵	۸۵	۹۰
		مواد ریزدانه	۴۰	۶۰	۸۰	۸۵
	مواد پرکننده نرم (مانند تالک یا رس)	مواد درشت دانه	۲۰	۴۰	۶۵	۷۰
		مواد متوسط دانه	۱۵	۳۵	۶۰	۶۵
		مواد ریزدانه	۱۰	۳۰	۵۵	۶۰
	ضخامت پرکننده‌ها < دامنه تغییرات دندانه‌ها			۱۰	۳۰	۴۰
	ضخامت پرکننده‌ها > دامنه تغییرات دندانه‌ها			(مواد شناور ۵)	۱۰	۲۰

تذکر: بند C برای درزه‌هایی با سطح صیقلی یا صاف اعمال نمی‌شود.

جدول ۳-۱۱- شرح امتیاز نهایی روش لابشر

طبقه	۱ A B	۲ A B	۳ A B	۴ A B	۵ A B
مجموع امتیاز بندهای ۱ تا ۴ در جدول ۳-۱۰	۱۰۰-۸۱	۸۰-۶۱	۶۰-۴۱	۴۰-۲۱	۲۰-۰
شرح	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف



شکل ۳-۵- تقسیم‌بندی روش‌های استخراج (امکان استخراج تخریبی)

۳-۳-۴- روش دانشگاه بریتیش کلمبیا UBC[1]

روش امتیازدهی عددی UBC از دیگر روش‌های رایج امتیازدهی عددی برای انتخاب روش استخراج است که در سال ۱۹۹۵ توسط میلر، پاکالنیس و پائولین در دانشگاه بریتیش کلمبیا در کانادا ارایه شد. این روش در واقع اصلاحی بر امتیازهای نیکلاس بر اساس شرایط عملیات تجربی استخراج در کشور کانادا است. در این کشور به دلیل پیشرفت سیستم‌های نگهداری، روش‌های استخراج کارگاهی بدون نگهداری بر روش‌های استخراج تخریبی ارجحیت یافته است. میلر، پاکالنیس و پائولین از دو شاخص RSS و RMR برای بررسی خواص ژئومکانیکی مواد استفاده کردند. به علاوه برای عمق کانسار (که در روش نیکلاس به طور مستقیم منظور نشده است) نیز برای هر یک از روش‌ها در شرایط مختلف عمق امتیازهایی تعیین شد. در روش UBC با توجه به اهمیت مقاومت ماده معدنی، کمربالا، کمرپایین در روش های مختلف استخراج یک فاکتور وزنی در نظر گرفته شده است. مثلا در دو روش جبهه‌کار بلند و کندن و آکندن مقاومت کمرپایین اهمیت بسیار کمی نسبت به مقاومت ماده معدنی و کمربالا دارد. بنابراین امتیاز مقاومت کمرپایین این دو روش را حذف می کند. در امتیازهای مقاومت ماده معدنی و کمربالا به جای امتیاز ۴ از ۶ استفاده شده است. استفاده از سیستم‌های نگهداری پیشرفته و تجهیزات عملیاتی کنترل از راه دور باعث شده که روش‌های استخراج بدون نگهداری جای روش‌های تخریبی را بگیرند و بر این اساس روش UBC نیز تاکید خاصی بر روی روش‌های بدون نگهداری و کاهش عملیات دارد. بسیاری از معادن، مخصوصا کانسارهای رگه‌ای طلا، معمولا ضخامت کمتر از ۱۰ متر دارند، لذا در روش UBC یک گروه بسیار نازک با ضخامت تا ۳ متر به دسته‌بندی ضخامت اضافه شده است. در ضخامت زیر ۳ متر از دستگاه‌های چالزنی کوچکتر استفاده می‌شود که باعث کاهش تولید و همچنین کاهش اختلاط باطله و ماده معدنی می‌شود. با استفاده از ارابه‌های چالزنی، ضخامت بیشتری از باطله همراه ماده معدنی استخراج می شود، به عنوان مثال یک متر اضافه حفاری در باطله یک ماده معدنی با ضخامت ده متر، باعث ۱۰ درصد رقت و سه متر اضافه حفاری، باعث ۳۳ درصد رقت می‌شود (با فرض برابری وزن مخصوص باطله و کانسنگ). در روش UBC بر خلاف روش نیکلاس که امتیاز ۴۹- برای حذف روش‌های غیر ممکن به کار رفته است، از امتیاز ۱۰- برای کسر امتیاز استفاده شده است. شاخص‌های به کار رفته در این روش و تقسیم‌بندی آن به شرح زیر است:

الف- عمق کانسار:

در این روش برای حذف یا محدود کردن انتخاب روش روباز در اعماق، عمق کانسارها به سه دسته کم عمق (عمق کمتر از ۱۰۰ متر)، متوسط (عمق ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر) و عمیق (عمق بیش از ۶۰۰ متر) تقسیم شده است.

ب- شکل عمومی کانسار:

مشابه الگوی نیکلاس ذخایر بر اساس شکل به سه دسته ذخایر توده‌ای یا ذخایری با ابعاد برابر، ذخایر ورقه‌ای یا لایه‌ای یا ذخایری که ضخامت دو بعد از کانسار چند برابر بعد سوم است و بعد سوم معمولا از ۳۵ متر تجاوز نمی کند و ذخایر رگه‌ای یا نامنظم که ابعاد کانسار کوچک و هر سه بعد متغیر و نامنظم است، تقسیم می‌شود.

پ- شیب کانسار:

دیگر پارامتر ورودی در این روش شیب کانسار است. در کانسارهای پرشیب برای کاهش هزینه‌ها از روش‌هایی که امکان حمل ثقلی در آن‌ها وجود دارد استفاده می‌شود. تقسیم‌بندی ذخایر بر اساس شیب کاملا مشابه روش نیکلاس است.

1- University of British Columbia

ت- ضخامت کانسار:

یکی از شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج در روش UBC ضخامت ماده معدنی است. این پارامتر علاوه بر انتخاب روش استخراج، در انتخاب تجهیزات پیشروی و جبهه‌کار، امکان کاربرد روش‌های استخراج فله‌ای (غیر انتخابی) در مقابل روش‌های انتخابی و طول کارگاه استخراج نیز تاثیر مستقیم دارد. ضخامت کانسارها در روش UBC به پنج گروه خیلی نازک (ضخامت ماده معدنی کمتر از ۳ متر)، نازک (ضخامت بین ۳ تا ۱۰ متر)، متوسط (ضخامت بین ۱۰ تا ۳۰ متر)، ضخیم (ضخامت بین ۳۰ تا ۱۰۰ متر) و خیلی ضخیم (ضخامت بیش از ۱۰۰ متر) تقسیم شده است.

ث- توزیع عیار:

تقسیم‌بندی ذخایر بر اساس توزیع عیار مشابه الگوی نیکلاس است.

ج- نسبت مقاومت فشاری تک محوری به فشار سنگ‌های روباره:

در روش UBC، تعریف این شاخص تفاوت اصولی با روش نیکلاس ندارد با این تفاوت که به چهار طبقه زیر تقسیم شده است. علت افزودن طبقه خیلی ضعیف فراوان بودن آن در معادن کانادا است.

- خیلی ضعیف[1]، کمتر از ۵ که در این شرایط، ایمنی برای ورود افراد به کارهای زیرزمینی بدون نگهداری، تضمین نمی‌شود (VW).
- ضعیف[2]، بین ۵ تا ۱۰ که در آن ورود افراد به کارهای زیرزمینی بدون نگهداری، خطرناک شمرده می‌شود (W).
- متوسط[3]، بین ۱۰ تا ۱۵ که در آن فشار سنگ عملیات معدنی را به مخاطره نمی‌اندازد (M).
- قوی[4]، بیش از ۱۵ که فشار زمین اثر بسیار کمی روی سنگ‌های بکر اطراف دارد (S).

چ- امتیاز توده سنگ (RMR):

در این الگو برای امتیازدهی به شرایط ژئومکانیکی کانسار از طبقه‌بندی بینیاوسکی[5] استفاده شده است. بینیاوسکی پنج پارامتر را در نظر گرفته که در بدترین حالت مجموع امتیازات آن صفر و در بهترین شرایط ۱۰۰ است. دلیل اصلی استفاده از روش پیشنهادی بینیاوسکی حالت کلی و کاربرد عمومی آن در شرایط مختلف است. محدوده تقسیم‌بندی امتیازات RMR به صورت زیر است:

- خیلی ضعیف — تا ۲۰ (VW)
- ضعیف — ۲۰ تا ۴۰ (W)
- متوسط — ۴۰ تا ۶۰ (M)
- قوی — ۶۰ تا ۸۰ (S)
- خیلی قوی[6] — ۸۰ تا ۱۰۰ (VS)

بر اساس تقسیم‌بندی‌های یاد شده امتیاز UBC در جداول ۳-۱۲ و ۳-۱۳ ارایه شده است.

1- Very weak
2- Weak
3- Moderate
4- Strong
5- Bieniawski
6- Very strong

جدول ۳-۱۲- امتیاز شاخص‌های هندسی برای هر یک از روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی عددی UBC

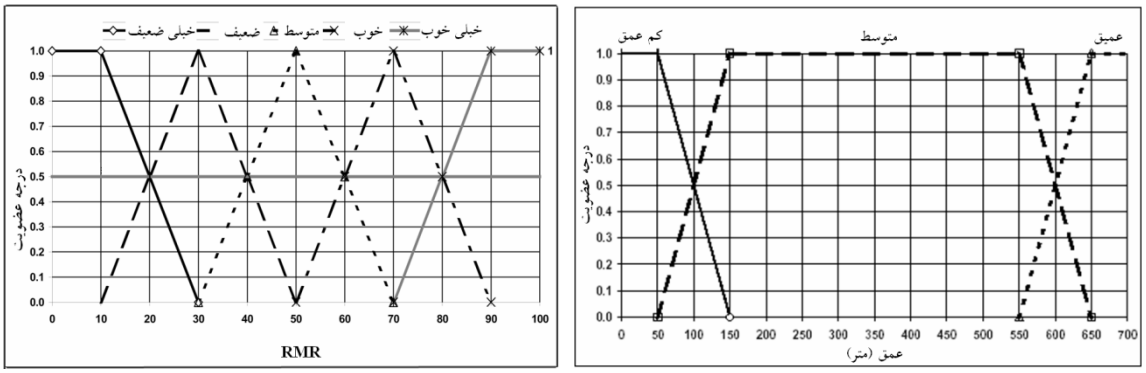
شاخص	عمق			ضخامت					شیب			شکل			توزیع عیار		
تقسیم‌بندی شاخص	کم	متوسط	عمیق	خیلی نازک	نازک	متوسط	ضخیم	خیلی ضخیم	افقی	متوسط	پرشیب	توده‌ای	ورقه‌ای	نامنظم	یکنواخت	تغییرات تدریجی	تغییرات ناگهانی
روباز	۴	۰	-۴۹	۱	۲	۳	۴	۴	۳	۳	۱	۴	۲	۳	۳	۳	۲
تخریب بلوکی	۲	۳	۳	-۴۹	-۴۹	۰	۳	۴	۳	۲	۴	۴	۲	۰	۳	۲	۲
استخراج از طبقات فرعی	۳	۴	۲	-۱۰	۱	۳	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۴	۱	۴	۴	۳
تخریب در طبقات فرعی	۳	۲	۲	-۴۹	-۴۹	۰	۴	۴	۱	۱	۴	۳	۴	۱	۳	۲	۲
جبهه‌کار بلند	۲	۲	۳	۴	۳	۰	-۴۹	-۴۹	۴	۰	-۴۹	-۴۹	۴	-۴۹	۴	۱	۰
اتاق و پایه	۳	۳	۲	۴	۳	۱	-۴۹	-۴۹	۱	۰	-۴۹	۰	۴	۲	۴	۲	۰
انباره‌ای	۳	۳	۲	۴	۴	۰	-۴۹	-۴۹	-۴۹	۰	۴	۰	۴	۲	۳	۲	۲
کندن و آکندن	۲	۳	۴	۳	۴	۴	۱	۰	۱	۳	۴	۱	۴	۴	۲	۳	۴
برش از بالا	۲	۱	۱	۱	۱	۰	۲	۱	۴	۲	۰	۱	۲	۰	۲	۱	۱
کرسی‌چینی	۱	۱	۲	۴	۳	۲	۰	۰	۲	۳	۲	۰	۱	۴	۰	۱	۳

جدول ۳-۱۳- امتیاز شاخص‌های ژئومکانیکی برای هر یک از روش‌های استخراج در الگوی امتیازدهی عددی UBC

شاخص	RSS										RMR															
تقسیم‌بندی	ماده معدنی					کمربالا					کمرپایین					ماده معدنی					کمربالا					کمرپایین				
شاخص	VW	W	M	S		VW	W	M	S		VW	W	M	S		VW	W	M	S		VW	W	M	S		VW	W	M	S	
روباز	۴	۳	۳	۳		۳	۳	۴	۴		۳	۴	۴	۴		۳	۳	۳	۳		۲	۳	۴	۴		۲	۳	۴	۴	
تخریب توده‌ای	۴	۲	۱	۰		۴	۳	۲	۰		۴	۳	۲	۱		۴	۳	۲	۰		۳	۳	۳	۲		۳	۳	۳	۲	
استخراج از طبقات فرعی	۰	۲	۴	۴		۰	۱	۴	۵		۰	۱	۱	۳		۱	۳	۴	۴		۰	۴	۴	۳		۰	۰	۲	۳	
تخریب در طبقات فرعی	۲	۳	۳	۲		۴	۳	۲	۱		۱	۲	۲	۳		۳	۴	۳	۱		۰	۴	۴	۲		۱	۲	۳	۳	
جبهه‌کار بلند	۶	۵	۲	۱		۶	۵	۲	۲		–	–	–	–		۶	۶	۴	۲		۲	۶	۵	۴		۳	–	–	–	
اتاق و پایه	۰	۰	۳	۶		۰	۰	۲	۶		–	–	–	–		-۴۹	۰	۳	۵		-۴۹	۰	۳	۶		۶	–	–	–	
انباره‌ای	۰	۱	۳	۴		۰	۱	۳	۴		۰	۲	۳	۳		۰	۱	۳	۳		۰	۲	۳	۴		۴	۰	۲	۳	
کندن و آکندن	۰	۱	۳	۳		۳	۵	۴	۲		۱	۲	۳	۲		۰	۱	۲	۳		۳	۴	۵	۳		۳	۳	۲	۲	
برش از بالا	۳	۲	۱	۰		۳	۲	۲	۲		۲	۱	۲	۱		۳	۲	۱	۱		۰	۲	۲	۳		۳	۰	۱	۲	
کرسی‌چینی	۴	۳	۱	۰		۴	۲	۱	۰		۳	۲	۱	۰		۴	۴	۱	۰		۴	۱	۰	۰		۳	۱	۰	۰	

۳-۳-۵- روش UBC اصلاح شده

روش اصلاح شده UBC در حقیقت تلاشی برای تهیه نرم‌افزار بر اساس روش امتیازدهی عددی UBC است و در آن سعی شده معایب روش‌های امتیازدهی عددی تا حدی مرتفع شود. این الگو در سال ۲۰۰۰ معرفی شد و امتیازهای در نظر گرفته شده در آن مشابه امتیازهای UBC است با این تفاوت که در محاسبه امتیاز روش‌ها از محاسبات فازی[1] نیز استفاده شده‌اند. در این روش کلیه معیارها به غیر از شکل کانسار و توزیع عیار، به صورت مجموعه‌های فازی طبقه‌بندی شده است. تفاوت این روش با روش اولیه UBC در همین طبقه‌بندی فازی نهفته است که در آن برخلاف روش‌های امتیازدهی عددی، طبقه‌بندی با مرزهای مشخص و معین انجام نگرفته است. برای مثال نمودار طبقه‌بندی عمق و RMR در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.

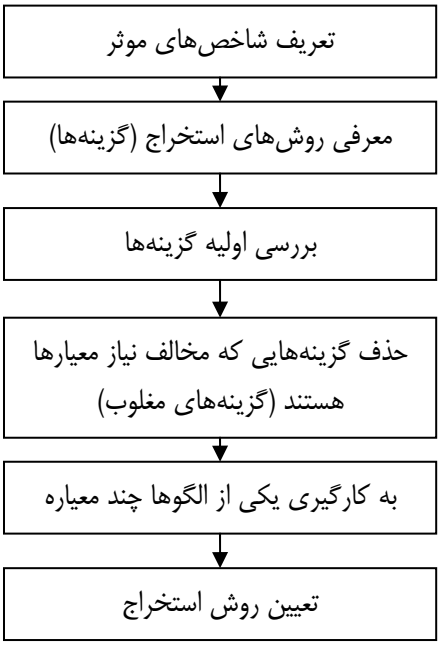


شکل ۳-۶- طبقه‌بندی عمق و RMR در روش UBC اصلاح شده

۳-۴- مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شاخص‌های مختلفی را که در انتخاب موثراند می‌توان در نظر گرفت. همچنین می‌توان تحلیل‌های متفاوتی را بر اساس شرایط حاکم در هر منطقه انجام داد و نتایج متفاوتی را با توجه به تکنولوژی موجود در کشورهای مختلف به دست آورد. در سال‌های اخیر از این مدل‌ها بسیار استفاده شده است. از مزیت‌های مهم این شیوه‌ها، امکان تحلیل حساسیت نتایج است. فرآیند انتخاب روش استخراج، یک فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره و نوعی از تصمیم گیری است که بسیاری از شاخص‌های مربوط به آن با یکدیگر در ارتباط هستند و تغییرات آن‌ها بر روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند و گاه تغییرات بعضی از این پارامترها، تاثیر معکوس بر روی پارامترهای دیگر دارند. از مزایای مدل‌های چند شاخصه می‌توان به جبرانی بودن این الگوها اشاره کرد. روند کلی انتخاب روش استخراج طبق این الگوها در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. بیشتر روش‌های تصمیم‌گیری از نظر معیارهای ورودی یکسان و معمولا در نوع اطلاعات اضافی با هم متفاوت هستند.

1- Fuzzy mathematics



شکل ۳-۷- فرآیند انتخاب روش استخراج در الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره انتخاب روش استخراج

۳-۴-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی[1]

الگوی تحلیل سلسله مراتبی در حل مسایل تصمیم‌گیری برای اولین بار توسط توماس ساعتی[2] در سال ۱۹۸۰ ارایه شد. این الگو از جمله الگوهایی است که در انتخاب روش استخراج به کار برده شده است. در این روش مسایل پیچیده تجزیه شده و به صورت گرافیکی در قالب سلسله مراتبی بیان می‌شوند. این روش بر اساس مقایسات زوجی معیارها و پاسخ‌دهی به سوالات مقایسه‌ای با استفاده از مقیاس‌هایی پیشنهادی توسط توماس ساعتی بنا نهاده شده است. با کمک این مقیاس‌ها وزن معیارها محاسبه و گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شود. تصمیم‌گیری در این الگو در سه مرحله ساختن سلسله مراتبی، محاسبه وزن‌ها و محاسبه آهنگ ناسازگاری انجام می‌گیرد.

۳-۴-۲- روش شباهت به حل ایده‌آل[3]

روش شباهت به حل ایده‌آل برای اولین بار توسط یون و هوانگ ارایه شد. در این روش گزینه‌ها بر اساس شباهت به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، به این ترتیب که هر چه گزینه شبیه‌تر به حل ایده‌آل باشد رتبه بالاتری به دست می‌آورد. حل ایده‌آل "پاسخی است که از نظر هر معیار بهترین باشد" که معمولا در عمل وجود ندارد و سعی می‌شود نزدیک‌ترین جواب به آن انتخاب شود. برای اندازه‌گیری شباهت هر گزینه به حل ایده‌آل نیز از مفهوم فاصله در یک فضای چند بعدی استفاده می‌شود. مراحلی که در این الگو برای دستیابی به پاسخ انجام می‌شود به ترتیب عبارت از تعیین ماتریس تصمیم و بی‌مقیاس کردن آن، تاثیر وزن معیارها در ماتریس

1- Analytical hierarchy process (AHP)
2- Saaty
3- Technique for order perfereince by simlarity to ideal solution (TOPSIS)

تصمیم، تعیین حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، محاسبه فاصله گزینه‌ها از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل، محاسبه معیار رتبه‌بندی گزینه‌ها و در پایان رتبه‌بندی گزینه‌ها است.

۳-۴-۳- روش تصمیم‌گیری چند معیاره پرامیتی[1]

الگوی تصمیم گیری چند معیاره پرامیتی نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسط برانس ارایه شد و در همان سال‌های اولیه کاربردهای فراوانی پیدا کرد. انگیزه ارایه روش پرامیتی اغراق‌آمیز بودن استفاده از یک تابع مطلوبیت برای کلیه معیارها است. در سایر الگوهای تصمیم‌گیری کلیه تصمیمات بر اساس یک تابع اتخاذ می‌شود. در این روش، بر خلاف سایر روش‌ها، گزینه‌های انتخاب به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۳-۴-۴- روش یاگر[2]

یکی از الگوهای تصمیم‌گیری که به دفعات برای انتخاب روش استخراج استفاده شده است، روش تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی بر اساس مدل یاگر است. در الگوی تصمیم‌گیری پیشنهادی توسط یاگر، از مقایسه دو به دو شاخص‌های موثر در انتخاب استفاده می‌شود. مقایسه دو به دو شاخص‌ها ارزیابی اهمیت آن‌ها را ساده‌سازی و اصلاح می کند. برای به دست آوردن اهمیت نسبی شاخص‌ها، تصمیم گیرنده سوالاتی را مطرح و با مقایسه دو به دو معیارها، آن‌ها را اولویت‌بندی می‌کند و وزن تاثیر هر معیار در فرآیند تصمیم‌گیری را به دست می‌آورد. سپس وزن‌های یاد شده در مجموعه‌های فازی تعریف شده گزینه‌ها، اعمال می‌شود. اساس تصمیم‌گیری نهایی در روش یاگر، قانون بیشینه- کمینه ارایه شده توسط زاده و بلمان است. تصمیم‌گیری مجموعه فازی در این روش تقاطعی از تاثیر پارامترها به صورت (و ـ یا) برای به دست آوردن انتخاب بهینه است.

۳-۴-۵- مدل‌های ترکیبی

به منظور پوشاندن نقطه ضعف یک مدل و استفاده از نقاط قوت مدل‌های مختلف در تصمیم‌گیری از مدل‌های ترکیبی[3] استفاده می‌شود. مطالعات انجام گرفته در مورد انتخاب روش استخراج، نشانگر آن است که از مدل‌های ترکیبی به منظور انتخاب روش استخراج به صورت گسترده‌تری استفاده شده است. در این میان به دست آوردن وزن معیارها با روش AHP و انتخاب نهایی به روش‌های دیگر، از جمله TOPSIS و یا یاگر، بیشترین کاربرد را داشته است.

۳-۴-۶- نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری انتخاب روش استخراج

در سال‌های اخیر نرم‌افزارهایی بر اساس مدل‌های تصمیم‌گیری ارایه شده که در مسایل انتخاب روش استخراج نیز به کار رفته است. از این میان می‌توان به نرم‌افزار .Decision Lab، Expert Choice و FDM اشاره کرد که برای انتخاب روش استخراج مورد استفاده قرار گرفته است.

1- Preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE)
2- Yager
3- Hybrid

۳-۴-۷- سیستم‌های خبره در انتخاب روش استخراج

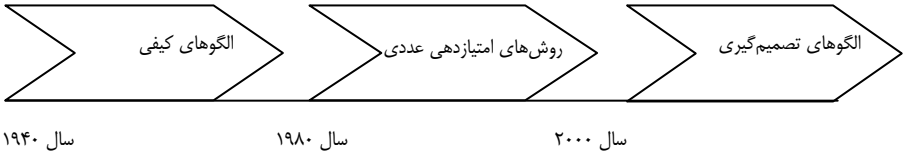
در انتخاب روش استخراج، طراحان علاوه بر استفاده از الگوهایی که بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بنا شـده‌انـد، از سیستم‌های خبره و هوش مصنوعی نیز استفاده کرده‌اند.

فصل ۴

ارایه راهنمای انتخاب روش استخراج مناسب برای ذخایر معدنی ایران

۴-۱- آشنایی

به منظور تکمیل آشنایی کاربران با الگوهای انتخاب روش استخراج، در ابتدای این فصل سیر تکاملی، مزایا و محدودیت‌های به کارگیری این الگوها ارایه شده است. مطالعه سیر تکاملی الگوهای انتخاب روش استخراج ارایه شده در فصل قبل نشان دهنده این واقعیت است که انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی هر چند از آغاز پیدایش معدنکاری مطرح بوده ولی به صورت علمی در سال ۱۹۴۰ میلادی مورد توجه قرار گرفته است. سیر تکاملی الگوهای انتخاب روش استخراج در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- سیر تکاملی الگوهای انتخاب روش استخراج

مزایا و محدودیت‌های هر یک از الگوهای انتخاب روش استخراج در جدول ۴-۱ ارایه شده است.

۴-۲- بررسی قابلیت به کارگیری الگوهای رایج انتخاب روش استخراج در ایران

از هر یک از الگوهای ارایه شده در فصل سوم می‌توان به منظور انتخاب اولیه روش استخراج ذخایر معدنی کشور استفاده کرد. هدف این فصل ارایه نکاتی است که به هنگام استفاده از این الگوها باید مورد توجه قرار گیرند. مهم‌ترین مزیت الگوهای کیفی، سرعت بالای دسترسی به پاسخ و قابل فهم بودن آن برای مهندسان و معدنکاران است. این الگوها بر اساس تقسیم‌بندی تجربی روش‌های استخراج معادن هستند. با کاربرد این الگوها معمولا در پایان تصمیم‌گیری، یک یا چند روش استخراج برای شرایط مشخصی از کانسار به دست می‌آید. از این الگوها می‌توان به عنوان راهنمای اولیه در انتخاب روش استخراج سود برد. در طبقه‌بندی روش‌ها به معیارهای مهم از جمله مشخصات کانسار اکتفا شده و سایر معیارها نادیده گرفته شده است. سایر نواقص و محدودیت‌هایی که در این الگوها وجود دارد، عبارت از عدم ارایه یک انتخاب مشخص و قطعی، وابستگی شدید روش به تجربه تصمیم گیرنده، نداشتن مبانی تئوریک بر پایه ریاضی، عدم امکان فرموله کردن الگوها و محدودیت در تعداد شاخص‌ها و گزینه‌ها است. در استفاده از روش‌های امتیازدهی عددی نیز محدودیت‌هایی وجود دارد. برابری وزن تاثیر هر یک از معیارها در فرآیند تصمیم‌گیری مهم‌ترین نقص این الگوها است. به علاوه، روش‌های ارایه شده بر اساس امتیازدهی عددی بر مبنای امتیازدهی به شاخص‌هایی استوار است که بیان‌کننده شرایط یک ذخیره هستند. این الگوها، محدودیت‌هایی در تصمیم‌گیری دارند که از بارزترین آن‌ها می‌توان به محدودیت در تعداد شاخص‌ها و گزینه‌های انتخاب اشاره کرد. سایر محدودیت‌های روش‌های امتیازدهی عددی عبارت از عدم توجه به گزینه‌ها در وزن‌دهی شاخص‌ها، عدم توجه به تاثیر هم‌زمان شاخص‌ها، محدودیت در نوع شاخص‌ها و ابهام در شرایط مرزی تقسیم‌بندی‌های مربوط به عوامل موثر انتخاب است.

جدول ۴-۱- مزایا و محدودیت‌های الگوهای انتخاب روش استخراج

نام	سال ارایه	اساس الگو	مزایا	محدودیت‌ها
Peele	۱۹۴۱	الگوی کیفی	توضیح کامل روش‌های استخراج، پایه و اساس الگوهای بعدی	به صورت الگو و دستورالعمل کاربردی نبوده و شرحی بر روش‌های استخراج است.
Boshkov & Wright	۱۹۷۳	الگوی کیفی	سادگی استفاده، به عنوان راهنمای اولیه در انتخاب روش استخراج	در حد تقسیم‌بندی روش‌های استخراج زیرزمینی، به جواب قطعی نمی‌رسد.
Morrison	۱۹۷۶	الگوی کیفی	به عنوان راهنمای اولیه در انتخاب روش استخراج و نوع نگهداری	شاخص‌های موثر بسیار کم است و نقص دارد، در حد تقسیم‌بندی روش‌های استخراج زیرزمینی، به یک جواب قطعی نمی‌رسد.
Nicholas	۱۹۸۱ و ۱۹۹۲	امتیازدهی عددی	به علت سادگی بسیار پرکاربرد است.	نواقص در تعداد شاخص‌ها، نقص در نوع شاخص‌ها، عداد گزینه‌ها، عدم اعمال ارتباط بین شاخص‌ها، نقص در اعمال عدم قطعیت در بیان شاخص‌ها، تقسیم‌بندی شاخص‌ها به طبقات قطعی، دستیابی به پاسخ‌های غیر قابل قبول
Laubscher	۱۹۸۱	امتیازدهی عددی	الگوی کاملا مطمئن برای اطمینان از انتخاب روش‌های تخریبی	فقط برای انتخاب روش‌های استخراج زیرزمینی تخریبی و تعیین قابلیت تخریب قابل کاربرد است، در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌ها و سایر نواقص اشاره شده برای الگوهای امتیازدهی عددی
Hamrin	۱۹۸۲	الگوی کیفی	توضیحات کامل برای شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج زیرزمینی	به صورت الگو و دستورالعمل کاربردی نیست.
Hartman	۱۹۸۷	الگوی کیفی	سادگی استفاده، به عنوان راهنمای اولیه در انتخاب روش استخراج	محدودیت در افزایش تعداد و تنوع شاخص‌ها، تعداد گزینه‌ها، ارتباط بین شاخص‌ها، عدم قطعیت شاخص‌ها، تقسیم‌بندی روش‌های استخراج
Bandopadhyay & Subramanian	۱۹۸۸	سیستم خبره و الگوهای کیفی	کاربرد ساده و قابل فهم بودن	محدودیت در تعداد شاخص‌ها، محدودیت در نوع شاخص‌ها، تعداد گزینه‌ها، ارتباط بین شاخص‌ها، عدم قطعیت در بیان شاخص‌ها
Agoshkov	۱۹۸۸	الگوی کیفی	سادگی استفاده – به عنوان راهنمای اولیه در انتخاب روش استخراج	الگوی کاربردی نبوده و به صورت توضیحاتی کلی در مورد روش‌های استخراج زیرزمینی است.
Mutagwaba & Terezopoulos	۱۹۹۴	سیستم خبره و الگوهای کیفی	سادگی کاربرد و قابل فهم بودن	محدودیت در تعداد شاخص‌ها، محدودیت در نوع شاخص‌ها، تعداد گزینه‌ها، ارتباط بین شاخص‌ها، عدم قطعیت در بیان شاخص‌ها
Pakalnis, Miller & Poulin	۱۹۹۵	امتیازدهی عددی	پرکاربرد و ساده	محدودیت در تعداد شاخص‌ها، محدودیت در نوع شاخص‌ها، محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم اعمال ارتباط بین شاخص‌ها، عدم قطعیت در بیان شاخص‌ها، تقسیم‌بندی شاخص‌ها به طبقات قطعی
Tatiya	۱۹۹۸	آنالیز اقتصادی	اساس محاسبات اقتصادی	نیاز به اطلاعات دقیق اقتصادی، غیر کاربردی برای انتخاب روش استخراج، محاسبات پیچیده و طولانی
Karadogan & Bascetin Kahriman	۲۰۰۱	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	محدودیت اعمال متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌ها، ارتباط درونی شاخص‌ها
Meech, Pakalnis & Clayton	۲۰۰۲	امتیازدهی عددی	تقسیم‌بندی طبقات به مجموعه‌های فازی	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌ها، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها، محدودیت در تعداد شاخص‌ها و گزینه‌ها
Kesimal & Bascetin	۲۰۰۲	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها
Guray, Celebi, Atalay & Pasamehmetoglu	۲۰۰۳ و ۲۰۰۲	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها

ادامه جدول ۴-۱- مزایا و محدودیت‌های الگوهای انتخاب روش استخراج

نام	سال ارایه	اساس الگو	مزایا	محدودیت‌ها
Wei-Xuan & Yiming	۲۰۰۳ و ۲۰۰۴	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها
Mihaylov & Bakarjev	۲۰۰۵	مدلسازی و شبیه‌سازی کارگاه	شبیه‌سازی کارگاه استخراج	ضعف در افزایش تعداد شاخص‌ها و گزینه‌ها، الگوی کاربردی نیست.
Almeida & Alencar Miranda,	۲۰۰۵	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها
Bascetin, Oztas and Kanli	۲۰۰۶	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها
Karadogan, Kahriman and Ozer	۲۰۰۸	مدل تصمیم‌گیری	عدم محدودیت در تعداد گزینه‌ها، عدم محدودیت در تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها
Alpay and Yavuz	۲۰۰۸	مدل تصمیم‌گیری	امکان افزایش تعداد گزینه‌ها، امکان افزایش تعداد شاخص‌ها، امکان فرموله کردن و برنامه نویسی	ضعف در استفاده از متغیرهای بیانی، در نظر نگرفتن عدم قطعیت، در نظر نگرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها

در سال‌های اخیر به کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب روش استخراج رواج یافته است. مزیت‌های مدل‌های تصمیم‌گیری عبارتند از:

- امکان فرموله کردن مساله و تجدید نظر در آن
- امکان در نظر گرفتن گزینه‌های متنوع و متعدد
- امکان در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف
- در نظر گرفتن شاخص‌ها به صورت کمی و کیفی (بیانی)
- در نظر گرفتن رای و عقیده افراد مختلف در مورد گزینه‌ها و معیارها
- امکان تلفیق قضاوت‌ها برای محاسبه امتیازهای نهایی
- داشتن مبانی ریاضی

در این روش‌ها محدودیتی برای افزایش تعداد شاخص‌ها و یا گزینه‌ها وجود ندارد و تعداد آن‌ها را تصمیم گیرنده تعیین می‌کند. با این حال، در این روش‌ها نیز محدودیت‌های دیگری وجود دارد. به کارگیری الگوهای یاد شده وقت‌گیر و معمولا با محاسبات طولانی همراه است. علاوه بر این، اساس روش‌های فوق بر مقایسه زوجی معیارها استوار است و آهنگ ناسازگاری مقایسات زوجی باید در حد قابل قبولی باشد. علاوه بر آن، نواقصی نظیر عدم امکان بیان معیارها به صورت شاخص‌های بیانی و لحاظ عدم قطعیت‌ها در تصمیم‌گیری دراین الگوها وجود دارد. جواب نهایی مدل‌های تصمیم‌گیری به شدت به تجربه و یا اطلاعات موجود تیم تصمیم گیرنده بستگی دارد.

۴-۳- الگوی جامع انتخاب روش استخراج

به منظور پرهیز از محاسبات پیچیده و تصمیم‌گیری در محیط فازی، الگوی جامع انتخاب اولیه روش استخراج ذخایر معدنی توسط معدنکاران و شرکت‌های معدنی یک الگوی کیفی ساده و جامع ارایه شده است که پایه و اساس آن طبقه‌بندی است که در طرح تهیه دستورالعمل انتخاب روش اکتشاف ذخایر معدنی ارایه شده است. سعی شده است که این طبقه‌بندی مشابه طبقه‌بندی در طرح یاد شده باشد تا در اجرا برای معدنکاران پیچیدگی به وجود نیاید. در این الگو موارد زیر رعایت شده است:

- سهولت به کارگیری توسط مهندسان معدن و شرکت‌های معدنی و یا سایر افرادی که در صدد اخذ مجوز استخراج هستند.
- با شرایط و تکنولوژی بومی کشور متناسب باشد.
- گزینه‌های گوناگونی را پیشنهاد دهد تا تصمیم گیرنده با توجه به سرمایه و تجهیزات در دسترس، تصمیم نهایی را اتخاذ کند.
- به صورت گرافیکی و ساده ارایه شود.
- طبقه‌بندی ارایه شده، با طبقه‌بندی ارایه شده در دستورالعمل‌های اکتشاف ذخایر تا آنجا که امکان دارد، بیشترین انطباق را داشته باشد.

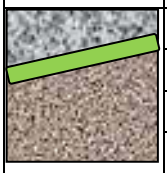
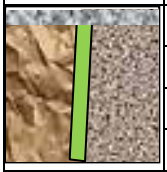
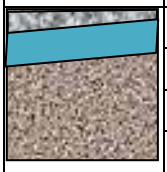
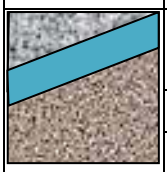
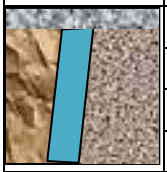
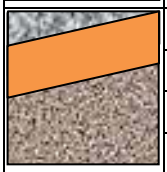
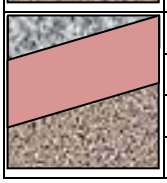
۴-۳-۱- راهنمای اولیه انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی

برای انتخاب روش استخراج در ابتدا پیشنهاد می‌شود که از روش‌های کیفی و امتیازدهی معرفی شده در بخش قبلی استفاده شود. در این فصل جداولی به منظور راهنمای اولیه انتخاب روش استخراج ارایه شده است (جداول ۴-۲ تا ۴-۸). ماده معدنی در این جداول با رنگ روشن‌تر نسبت به سنگ‌های هم‌جوار مشخص شده است. در پایان این مرحله چند روش استخراج به عنوان گزینه‌های اولیه برای انتخاب روش‌های استخراج مناسب معرفی می‌شوند. با استفاده از نتایج حاصل از این مرحله و کاربرد یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری ارایه شده و با توجه به معیارهای معرفی شده روش استخراج، انتخاب خواهد شد.

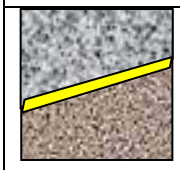
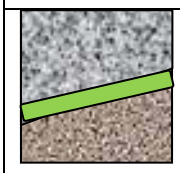
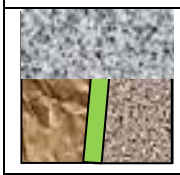
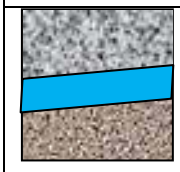
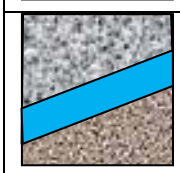
جدول ۴-۲- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر لایه‌ای یا ورقه‌ای کم عمق (عمق کمتر از ۱۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی نازک (کمتر از ۳ متر)	کم شیب تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، جبهه‌کار بلند، اتاق و پایه، استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه، کندن و آکندن با باطله کارگاه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، جبهه‌کار بلند با تخریب سقف، جبهه‌کار بلند با پر کردن کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی، کندن و آکندن با باطله کارگاه	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، ستونی، جبهه‌کار بلند، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار بلند شیبی با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه، جبهه‌کار بلند با تخریب یا پر کردن	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	

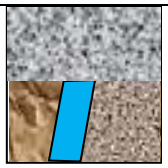
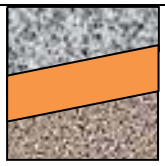
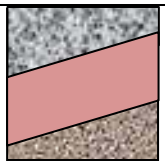
ادامه جدول ۴-۲- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر لایه‌ای یا ورقه‌ای کم عمق (عمق کمتر از ۱۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی نازک (کمتر از ۳ متر)	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، ستونی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
نازک (۳ تا ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، جبهه‌کار بلند، اتاق و پایه، استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، جبهه‌کار بلند با تخریب سقف، جبهه‌کار بلند با پر کردن کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، جبهه‌کار بلند شیبی با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه، ستونی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، جبهه‌کار بلند با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، جبهه‌کار بلند با تخریب یا پر کردن کارگاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج از طبقات فرعی، جبهه‌کار بلند دستی شیبی، انباره‌ای، ستونی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، برش از بالا، ستونی، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، استخراج زیر سقف مصنوعی	
متوسط (۶ تا ۳۰ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، اتاق و پایه، برشی، استخراج از طبقات فرعی، انباره‌ای، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، استخراج قیفی (Underground glory holing)، برشی، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، روباز، کرسی‌چینی، کندن و آکندن	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، برش زیر سقف مصنوعی	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج قیفی، کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سقف مصنوعی، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج قیفی، استخراج از طبقات فرعی، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی	
ضخیم (۳۰ تا ۱۰۰ متر)	--	مقاوم	مستحکم	روباز، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
خیلی ضخیم (بالای ۱۰۰ متر)	--	مقاوم	مستحکم	روباز، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	

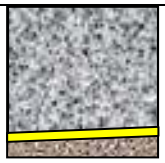
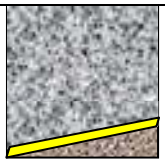
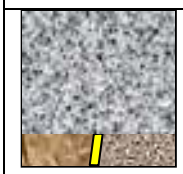
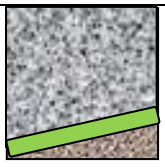
جدول ۴-۳- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر لایه‌ای یا ورقه‌ای با عمق متوسط (عمق بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی نازک (کمتر از ۳ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار بلند، اتاق و پایه، استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار بلند با تخریب سقف، جبهه‌کار بلند با پر کردن کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، ستونی، جبهه‌کار بلند، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار بلند شیبی با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه، جبهه‌کار بلند با تخریب یا پر کردن	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	ستونی	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
نازک (۳ تا ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار بلند، اتاق و پایه، استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار بلند با تخریب سقف، جبهه‌کار بلند با پر کردن کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار بلند شیبی با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه، ستونی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار بلند با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کاربلند با یخریب یا پر کردن کارگاه	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، جبهه‌کار بلند دستی شیبی، انباره‌ای، ستونی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن، برش از بالا، ستونی، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، استخراج زیر سقف مصنوعی	
متوسط (۶ تا ۳۰ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، اتاق و پایه، برشی، استخراج از طبقلت فرعی، انباره‌ای، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، استخراج قیفی، برشی، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، روباز، کرسی‌چینی، کندن و آکندن	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، برش زیر سقف مصنوعی	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج قیفی، کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سقف مصنوعی، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	

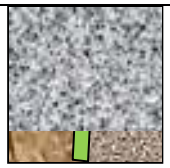
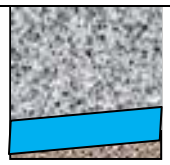
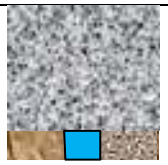
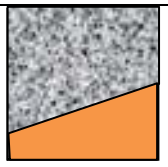
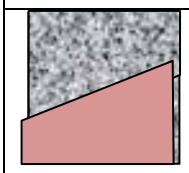
ادامه جدول ۴-۳- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر لایه‌ای یا ورقه‌ای با عمق متوسط (عمق بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
متوسط (۶ تا ۳۰ متر)	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج قیفی، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی	
ضخیم (۳۰ تا ۱۰۰ متر)	--	مقاوم	مستحکم	روباز، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
خیلی ضخیم (بالای ۱۰۰ متر)	--	مقاوم	مستحکم	روباز، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	

جدول ۴-۴- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر لایه‌ای یا ورقه‌ای عمیق (بیش از ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی نازک (کمتر از ۳ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار بلند، استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار بلند با تخریب سقف، جبهه‌کار بلند با پر کردن کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	ستونی، جبهه‌کار بلند، جبهه‌کار کوتاه، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار بلند شیبی با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه، جبهه‌کار بلند با تخریب یا پر کردن	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه،	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا،	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا،	
نازک (۳ تا ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار بلند، ستونی، جبهه‌کار کوتاه، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار بلند با تخریب سقف، جبهه‌کار بلند با پر کردن کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار بلند شیبی با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه، ستونی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار بلند با پر کردن یا تخریب، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کاربلند با یخریب یا پر کردن کارگاه	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	

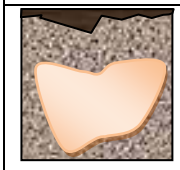
ادامه جدول ۴-۴- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر لایه‌ای یا ورقه‌ای عمیق (بیش از ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
نازک (۳ تا ۶ متر)	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، جبهه‌کار بلند دستی شیبی، انباره‌ای، ستونی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن، برش از بالا، ستونی، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، استخراج زیر سقف مصنوعی	
متوسط (۶ تا ۳۰ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، اتاق و پایه، برشی، استخراج از طبقات فرعی، انباره‌ای، سپری	
		ضعیف	مستحکم	برشی، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، روباز، کرسی‌چینی، کندن و آکندن	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، برش زیر سقف مصنوعی	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	مستحکم	سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	سقف مصنوعی، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تسپری	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی	
ضخیم (۳۰ تا ۱۰۰ متر)	--	مقاوم	مستحکم	انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
خیلی ضخیم (بالای ۱۰۰ متر)	--	مقاوم	مستحکم	انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، سپری	

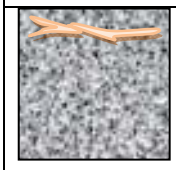
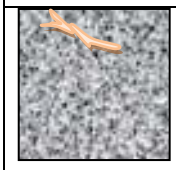
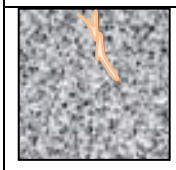
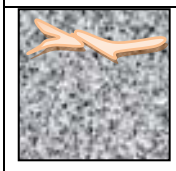
جدول ۴-۵- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر توده‌ای

عمق	ضخامت متوسط	مقاومت کانسنگ	استحکام سنگ درونگیر	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
کم عمق (کمتر از ۱۰۰ متر)	کمتر از ۳۰ متر	مقاوم	مستحکم	انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	تخریب در طبقات فرعی، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، استخراج سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	تخریب در طبقات فرعی، کندن و آکندن، برش از بالا، سپری	
		ضعیف	قابل تخریب	تخریب در طبقات فرعی، کندن و آکندن، برش از بالا، کرسی‌چینی، استخراج سپری	
	بیش از ۳۰ متر	مقاوم	مستحکم	انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کارگاه و پایه، روش های ترکیبی	
		ضعیف	مستحکم	تخریب در طبقات فرعی، کندن و آکندن، روش های ترکیبی	
		مقاوم	قابل تخریب	تخریب در طبقات فرعی، روش های ترکیبی	
		ضعیف	قابل تخریب	تخریب در طبقات فرعی، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، روش های ترکیبی	

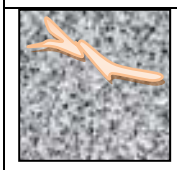
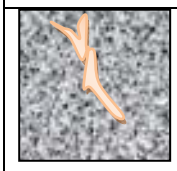
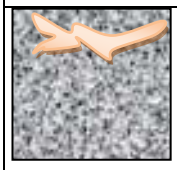
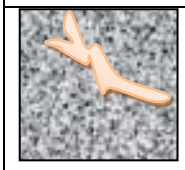
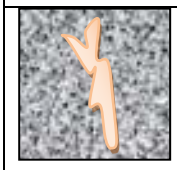
ادامه جدول ۴-۵- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر توده‌ای

عمق	ضخامت متوسط	قاومت کانسنگ	استحکام سنگ درونگیر	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
متوسط (بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر)	کمتر از ۳۰ متر	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، استخراج از طبقات فرعی، انباره‌ای	
		ضعیف	مستحکم	تخریب در طبقات فرعی، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، استخراج سپری، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری، روباز، کرسی‌چینی، کندن و آکندن، روباز	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری، روباز	
	بیش از ۳۰ متر	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، تخریب در طبقات فرعی، استخراج قیفی	
		ضعیف	مستحکم	سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، تخریب در طبقات فرعی	
عمیق (بیش از ۶۰۰ متر)	کمتر از ۳۰ متر	مقاوم	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی	
		ضعیف	مستحکم	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، سپری، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، سپری، کرسی‌چینی، تخریب در طبقات فرعی	
	بیش از ۳۰ متر	مقاوم	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، روش های ترکیبی، استخراج قیفی	
		ضعیف	مستحکم	تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای (تخریب سقف به صورت القایی)، روش‌های ترکیبی	
		مقاوم	قابل تخریب	تخریب در طبقات فرعی، روش‌های ترکیبی	
		ضعیف	قابل تخریب	تخریب در طبقات فرعی، تخریب توده‌ای، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، روش‌های ترکیبی	

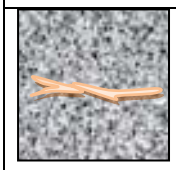
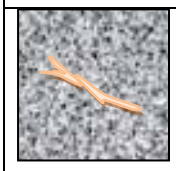
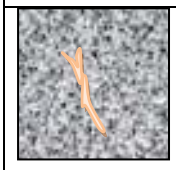
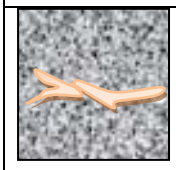
جدول ۴-۶- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر رگه‌ای کم عمق (کمتر از ۱۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی باریک (کمتر از ۳ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، استخراج ستونی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، ستونی، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، ستونی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
باریک (۳ تا ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، جبهه‌کار کوتاه	

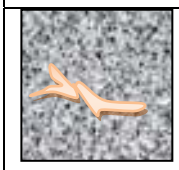
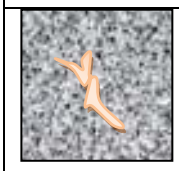
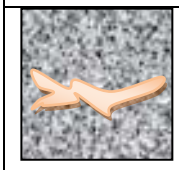
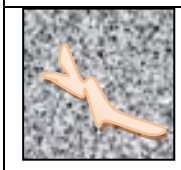
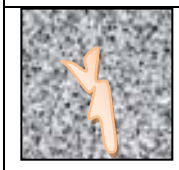
ادامه جدول ۴-۶- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر رگه‌ای کم عمق (کمتر از ۱۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
باریک (۳ تا ۶ متر)	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، جبهه‌کار کوتاه شیبی با پر کردن یا تخریب، ستونی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	روباز، جبهه‌کار کوتاه شیبی با پر کردن یا تخریب	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، جبهه‌کارکوتاه با یخریب یا پر کردن کارگاه	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، استخراج از طبقات فرعی، جبهه‌کار بلند دستی شیبی، انباره‌ای، ستونی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، برش از بالا، ستونی، سپری، کرسی‌چینی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، سپری	
عریض (بیش از ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، برشی، استخراج از طبقلت فرعی، انباره‌ای، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، برشی، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، روباز، کرسی‌چینی، کندن و آکندن	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، برش زیر سقف مصنوعی	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، برش از بالا	
		ضعیف	مستحکم	روباز، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سقف مصنوعی، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، روش‌های ترکیبی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، سپری، روش‌های ترکیبی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، روش‌های ترکیبی	

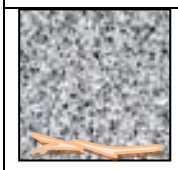
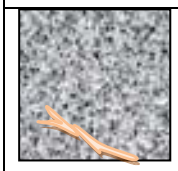
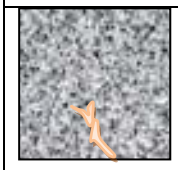
جدول ۴-۷- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر رگه‌ای با عمق متوسط (بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی باریک (کمتر از ۳ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، کندن و آکندن با باطله کارگاه، استخراج ستونی	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی، کندن و آکندن با باطله کارگاه	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، کارگاه و پایه، ستونی، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا	
باریک (۳ تا ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	

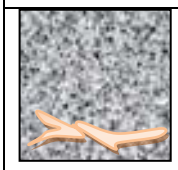
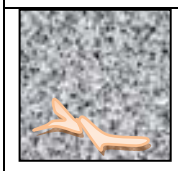
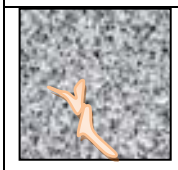
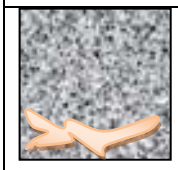
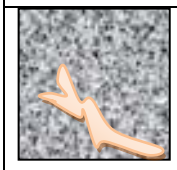
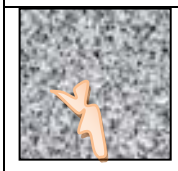
ادامه جدول ۴-۷- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر رگه‌ای با عمق متوسط (بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
باریک (۳ تا ۶ متر)	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه شیبی با پر کردن یا تخریب، ستونی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه شیبی با پر کردن یا تخریب	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کارکوتاه با یخریب یا پر کردن کارگاه	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، جبهه‌کار دستی شیبی، انباره‌ای، ستونی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن، برش از بالا، ستونی، سپری، کرسی‌چینی	
		ضعیف	قابل تخریب	کرسی‌چینی، برش از بالا، سپری	
عریض (بیش از ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، برشی، استخراج از طبقات فرعی، انباره‌ای، سپری	
		ضعیف	مستحکم	روباز، برشی، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، روباز، کرسی‌چینی، کندن و آکندن	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، برش زیر سقف مصنوعی	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	روباز، کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، برش از بالا	
		ضعیف	مستحکم	روباز، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، سقف مصنوعی، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	روباز، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، سپری، روش های ترکیبی	
		ضعیف	مستحکم	روباز، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	روباز، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری، ترکیبی	
		ضعیف	قابل تخریب	روباز، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، روش‌های ترکیبی	

جدول ۴-۸- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر رگه‌ای با عمق زیاد (بیش از ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
خیلی باریک (کمتر از ۳ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، استخراج ستونی (تا عمق ۱۱۰۰ متر)	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، جبهه‌کار کوتاه	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی	
		ضعیف	مستحکم	کندن و آکندن با باطله کارگاه، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا،	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن با باطله کارگاه، برش از بالا،	

ادامه جدول ۴-۸- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر رگه‌ای با عمق زیاد (بیش از ۶۰۰ متر)

ضخامت	شیب	مقاومت کانسنگ	استحکام کمربالا	روش‌های استخراج پیشنهادی	نمای شماتیک کانسار
باریک (۳ تا ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	استخراج ستونی، کارگاه و پایه، جبهه‌کار کوتاه،	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه با تخریب یا پر کردن، استخراج ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
		ضعیف	قابل تخریب	جبهه‌کار کوتاه	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه شیبی با پر کردن یا تخریب، ستونی، کارگاه و پایه	
		ضعیف	مستحکم	جبهه‌کار کوتاه شیبی با پر کردن یا تخریب	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کارکوتاه با تخریب یا پر کردن کارگاه	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، جبهه‌کار کوتاه شیبی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، جبهه‌کار شیبی دستی، انباره‌ای، ستونی، سپری	
		ضعیف	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، ستونی	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن، برش از بالا، ستونی، سپری، کرسی‌چینی	
		ضعیف	قابل تخریب	کرسی‌چینی، برش از بالا، سپری	
عریض (بیش از ۶ متر)	کم شیب ۰ تا ۲۰ درجه	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، برشی، استخراج از طبقلت فرعی، انباره‌ای، سپری	
		ضعیف	مستحکم	برشی، روباز	
		مقاوم	قابل تخریب	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، روباز، کندن و آکندن	
		ضعیف	قابل تخریب	برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، برشی، برش زیر سقف مصنوعی	
	متوسط ۲۰ تا ۵۰	مقاوم	مستحکم	کارگاه و پایه، انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، سپری، برش از بالا	
		ضعیف	مستحکم	سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی	
		مقاوم	قابل تخریب	سقف مصنوعی، سپری، کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
		ضعیف	قابل تخریب	کندن و آکندن، کرسی‌چینی، سپری، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی	
	پرشیب ۵۰ تا ۹۰	مقاوم	مستحکم	انباره‌ای، استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، سپری، روش های ترکیبی	
		ضعیف	مستحکم	استخراج از طبقات فرعی، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب در طبقات فرعی، سپری	
		مقاوم	قابل تخریب	کندن و آکندن، کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، سپری، روش‌های ترکیبی	
		ضعیف	قابل تخریب	کرسی‌چینی، برش از بالا، تخریب طبقات فرعی، روش‌های ترکیبی	

۴-۳-۲- الگوی جامع انتخاب روش استخراج

انتخاب روش استخراج، یک مساله تصمیم‌گیری چند شاخصه با شاخص‌های متعدد و ناسازگار است. برای بیان ریاضی مساله فرض می‌شود m گزینه به صورت $A = \{A_1, A_2, ..., A_m\}$ و n شاخص (پارامتر موثر در انتخاب) به صورت $P = P_1, P_2, ..., P_n$ وجود داشته باشد. ورودی اصلی الگوی پیشنهادی، ماتریس تصمیم[1] و یا ماتریس عملکرد[2] است که به صورت رابطه ۴-۱ بیان می‌شود:

1- Decision matrix
2- Performance matrix

$$\widetilde{D}_{m\times n}=\begin{array}{c}\begin{matrix}\mathrm{P_1} & \mathrm{P_2} & & \mathrm{P_i} & & \mathrm{P_n}\end{matrix}\\ \begin{bmatrix} (\widetilde{x}_{11},\widetilde{C}_{F_{11}}) & (\widetilde{x}_{12},\widetilde{C}_{F_{12}}) & \cdots & (\widetilde{x}_{1j},\widetilde{C}_{F_{1j}}) & \cdots & (\widetilde{x}_{1n},\widetilde{C}_{F_{1n}}) \\ (\widetilde{x}_{21},\widetilde{C}_{F_{21}}) & (\widetilde{x}_{22},\widetilde{C}_{F_{22}}) & \cdots & (\widetilde{x}_{2j},\widetilde{C}_{F_{2j}}) & \cdots & (\widetilde{x}_{2n},\widetilde{C}_{F_{2n}}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & (\widetilde{x}_{ij},\widetilde{C}_{F_{ij}}) & \ddots & \vdots \\ (\widetilde{x}_{m1},\widetilde{C}_{F_{m1}}) & (\widetilde{x}_{m2},\widetilde{C}_{F_{m2}}) & \cdots & (\widetilde{x}_{mj},\widetilde{C}_{F_{mj}}) & \cdots & (\widetilde{x}_{mn},\widetilde{C}_{F_{mn}}) \end{bmatrix}\begin{matrix}\mathrm{A_1}\\ \mathrm{A_2}\\ \\ \mathrm{A_i}\\ \\ \mathrm{A_m}\end{matrix}\end{array} \qquad (۱-۴)$$

که در آن $\widetilde{x}_{ij}$ بیان فازی از عملکرد گزینه iام در ارتباط با شاخص j ام و $\widetilde{C}_{F_{ij}}$ بیان فازی از درجه قطعیت[1] مربوط به درستی (صحت) متناظر آن است. از اندیس i برای بیان تعداد گزینه‌ها $i=\{1,2,...,m\}$ و از اندیس j برای بیان تعداد شاخص‌ها $j=\{1,2,...,n\}$ استفاده شده است. ماتریس ۴-۱ به طور ساده با رابطه ۴-۲ نشان داده می‌شود.

$$\widetilde{D}=[(\widetilde{x},\widetilde{C}_F)]_{m\times n} \qquad (۲-۴)$$

دلیل بیان ماتریس تصمیم به شکل فوق، اعمال عدم قطعیت‌های موجود همراه با روش استخراج انتخابی در مدل پیشنهادی است. عدم قطعیت در مدل تصمیم‌گیری به دو دسته عدم اطمینان موجود در مقادیر قضاوت‌ها (یعنی بیان x_{ij} به صورت فازی $\widetilde{x}_{ij}$) و عدم اطمینان موجود در بیان قضاوت‌ها که با درجه قطعیت $(C_{F_{ij}})$ نشان داده می‌شود تقسیم شده است. همچنین به دلیل آنکه در تعیین عدم اطمینان موجود در بیان قضاوت نیز ابهام وجود دارد، این فاکتور به صورت فازی $\widetilde{C}_{F_{ij}}$ نشان داده می‌شود. به منظور ساده‌سازی محاسبات در الگوی جامع برای بیان عدم قطعیت همراه مقادیر از اعداد فازی مثلثی[2] (TFNs) استفاده شده است. خلاصه‌ای از ریاضیات فازی و عملگرهای مورد استفاد در پیوست ارایه شده‌اند.

از آنجاکه اعداد فازی مثلثی و عملگرهای یاد شده برای کلیه شاخص‌ها اعمال می‌شود بنابراین انتخاب عملگرهای فازی تاثیری در اولویت‌بندی گزینه‌ها نخواهد داشت. به دلیل آنکه امکان محاسبه وزن شاخص‌ها در روش شباهت به حل ایده‌آل وجود ندارد بنابراین یک الگوی ترکیبی[3] تصمیم‌گیری برای محاسبه وزن‌ها پیشنهاد شده است. روند کلی مدل ترکیبی پیشنهادی محاسبه وزن و فرآیند تصمیم‌گیری در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

وزن هر شاخص در این الگو از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

– وزن خالص یا اولویتی که توسط تصمیم گیرنده بدون هیچ پیش فرضی با استفاده از مقایسه زوجی بین شاخص‌ها به دست می‌آید (بردار $\widetilde{\omega}_j$).

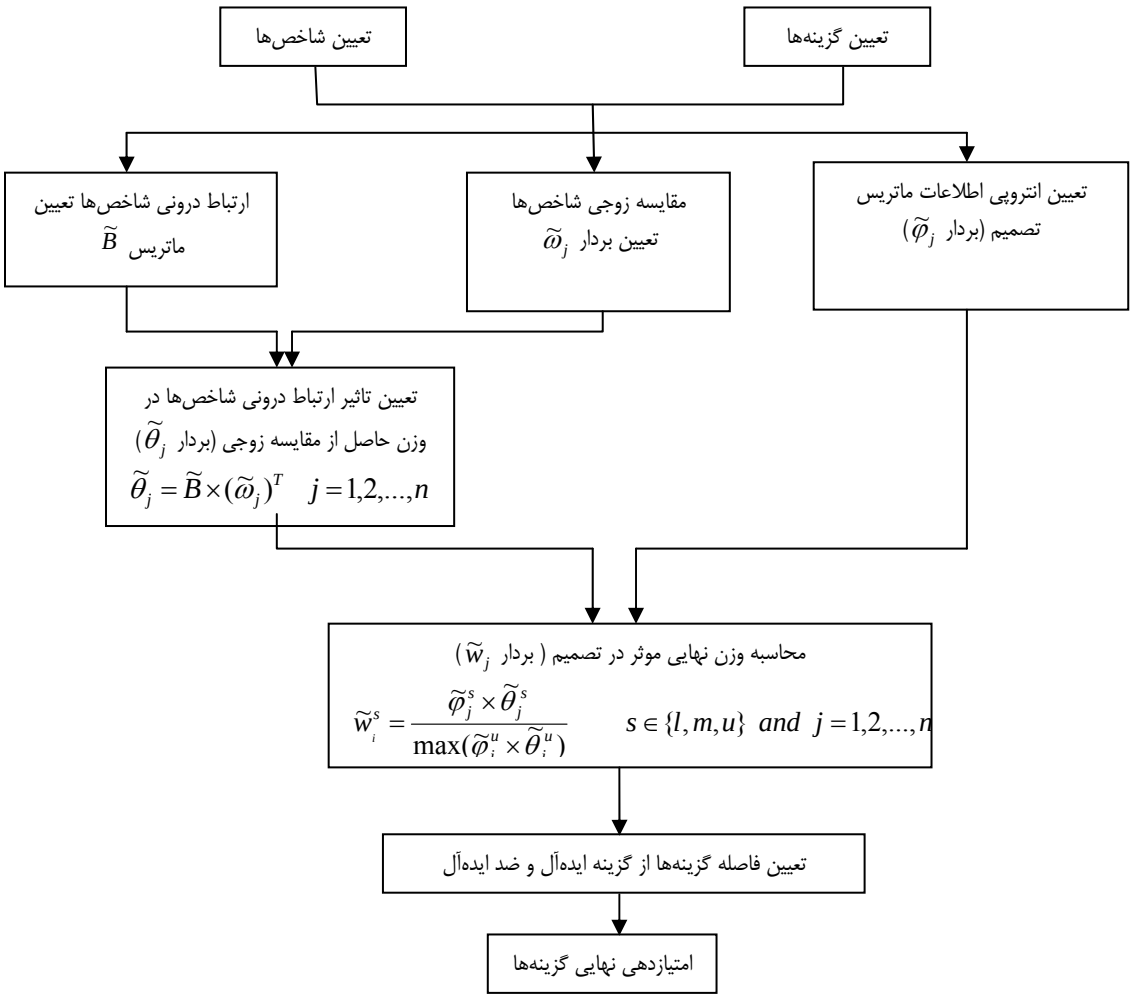
– وزنی که هر شاخص در نتیجه تاثیر شاخص دیگر دریافت می‌کند. بسیاری از شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج با یکدیگر ارتباط دارند. بنابراین قسمتی از وزن هر شاخص از تاثیر شاخص‌هایی که با آن وابستگی درونی دارند محاسبه و در ماتریس $\widetilde{B}$ نشان داده می‌شود. با اعمال ماتریس $\widetilde{B}$ در بردار $\widetilde{\omega}_j$ وزن $\widetilde{\theta}_j$ به دست می‌آید. این وزن، شامل وزنی است که از مقایسه زوجی با در نظر گرفتن ارتباط درونی شاخص‌ها به دست آمده است.

– انتروپی ماتریس تصمیم نشان دهنده اهمیت هر یک از شاخص‌ها است. بنابراین بردار $\widetilde{\varphi}_j$ قسمتی از وزن $\widetilde{W}_j$ است که از مفهوم انتروپی داده‌های موجود در ماتریس تصمیم به دست می‌آید.

1- Certainty degree
2- Triangular fuzzy numbers
3- Hybrid model

در انتها به دلیل هم مقیاس نبودن وزن‌های یاد شده، این وزن‌ها به کمک رابطه ۴-۳ با یکدیگر ادغام و وزن نهایی محاسبه می‌شود:

$$w_j^s = \frac{\widetilde{\varphi}_j^s \times \widetilde{\theta}_j^s}{\max_j(\widetilde{\varphi}_j^u \times \widetilde{\theta}_j^u)} \qquad s \in \{l,m,u\} \ \ and \ \ j = 1,2,...,n \qquad (۴-۳)$$



شکل ۴-۱- محاسبه وزن در الگوی ترکیبی تصمیم‌گیری

برای راحتی کاربران و دوری از اعداد فازی، ارزش‌دهی به شاخص‌های موثر با عبارات بیانی[1] انجام می‌شود. به عنوان مثال وقتی گفته می‌شود "روش اتاق و پایه برای ذخایری با شیب کم مناسب است" در واقع از واژه "کم" برای توصیف شیب استفاده شده و یا به عبارت روشن‌تر در "شیب کانسار" واژه "کم" به عنوان ارزش آن در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از ریاضیات فازی می‌توان متغییرهای بیانی را برای استفاده در روابط و قوانین استنتاج مشخص ساخت. ریاضیات فازی امکان به کارگیری متغیرهای بیانی را در روند انتخاب فراهم می‌سازد. متغیری را که در آن بتوان واژه‌هایی از زبان طبیعی را که به وسیله مجموعه‌های فازی قابل بیان باشد

1- Linguistic variable

به عنوان مقدار آن در نظر گرفت، متغیر بیانی نامیده می‌شود. در ریاضیات فازی یک متغیر بیانی به وسیله چهار پارامتر (X,T,U,M) مشخص می‌شود که این چهار پارامتر عبارتند از:

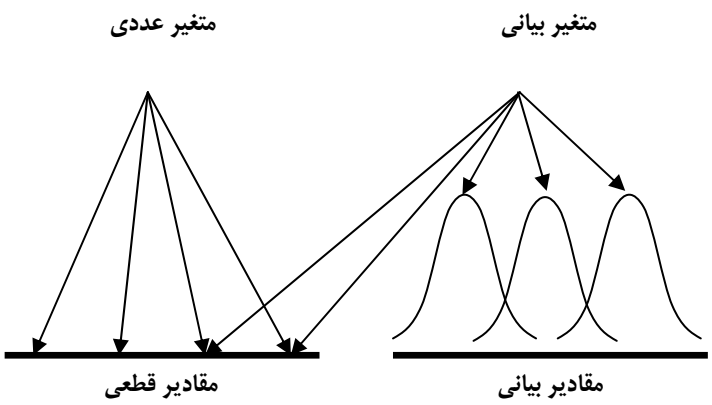
X: نام متغیر بیانی

T: مجموعه مقادیر بیانی که متغیر X می‌تواند اختیار کند.

U: دامنه فیزیکی واقعی که در آن متغیر بیانی X، مقادیر عددی خود را اختیار می‌کند.

M: یک قاعده بیانی که هر مقدار بیانی در T را به یک مجموعه فازی در U مرتبط می‌سازد.

در واقع متغیر بیانی مفهوم توسعه یافته‌ای از متغیرهای کلاسیک است. متغیر بیانی متغیری است که علاوه بر اعداد قطعی، مقادیر بیانی را نیز به عنوان مقدار خود می‌پذیرد. این مفهوم در شکل ۴-۲ به روشنی نشان داده شده است.

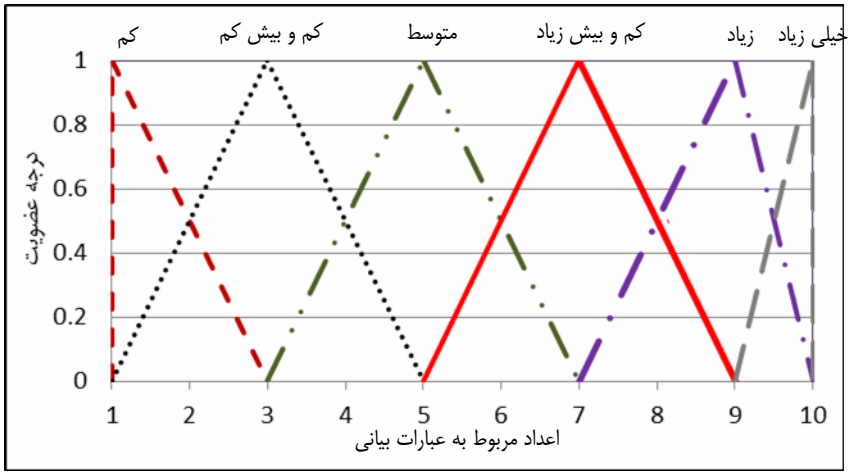


شکل ۴-۲- مقایسه متغیرهای عددی و بیانی

در الگوی جامع، مناسب بودن هر یک از گزینه‌ها برای هر یک از شاخص‌ها در ماتریس تصمیم با عبارت بیانی ارایه می‌شود. برای این ارزیابی از متغیر بیانی مناسب بودن استفاده می‌کنند. اعداد فازی مرتبط در جدول ۴-۹ ارایه و در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.

جدول ۴-۹- عبارات بیانی پیشنهادی برای ماتریس تصمیم

اعداد فازی	*امتیاز*
(۱،۱،۱)	خیلی کم
(۳،۱،۱)	کم
(۱،۳،۵)	کم و بیش کم
(۷،۵،۳)	متوسط
(۵،۷،۹)	کم و بیش زیاد
(۷،۹،۱۰)	زیاد
(۹،۱۰،۱۰)	خیلی زیاد



شکل ۴-۳- عبارات بیانی برای متغیر بیانی قضاوت مناسب بودن گزینه‌ها

قضاوت انسانی در تعیین مقدار و یا تاثیر شاخص‌های تصمیم‌گیری و یا به عبارت دیگر درایه‌های ماتریس تصمیم نقش دارد. از این رو، قضاوت‌های بالا همیشه با عدم قطعیت همراه هستند. عدم قطعیت‌ها از وجود اطلاعات کیفی ناکامل، نادقیق و یا شواهد جزیی[1] ناشی می‌شوند.

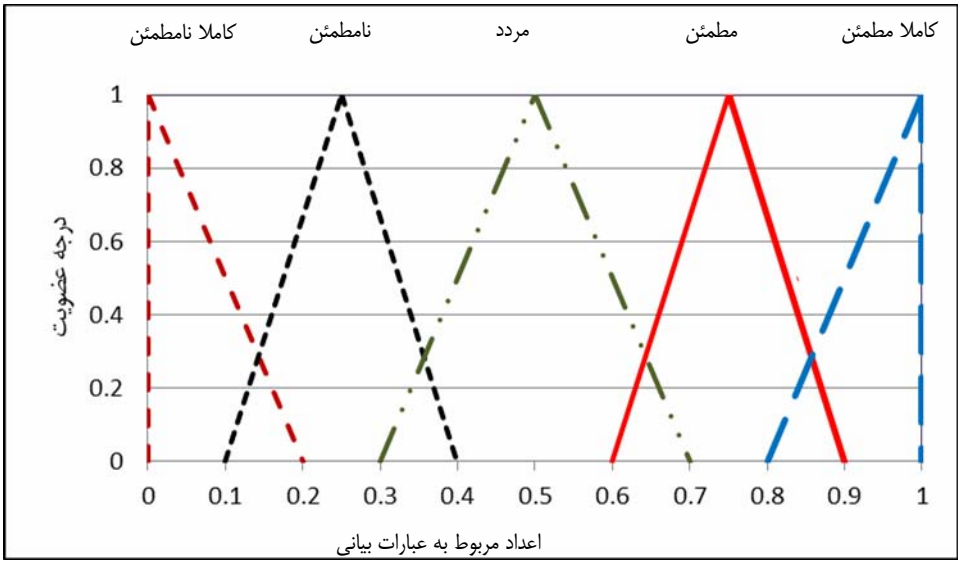
عدم قطعیت را به دو دسته عدم قطعیت در مقدار قضاوت و عدم قطعیت نسبت به صحت قضاوت تقسیم می‌کنند. در قضاوت‌های یک بعدی تاثیر عدم قطعیت‌های یاد شده با بیان فازی از x_{ij} به صورت $\widetilde{x}_{ij}$ اعمال می‌شود. این دو ابهام از یک منشا نیستند و علاوه بر آن، به دلیل متفاوت بودن اطلاعات تصمیم‌گیر از شاخص‌های مختلف، فرض یکسان بودن درجه قطعیت تصمیم‌گیر نسبت به تمامی قضاوت‌ها صحیح نیست. بنابراین نشان دادن درجه قطعیت در خود قضاوت به صورت یاد شده ممکن است به نتیجه اشتباه منتهی شود.

در قضاوت‌های دو بعدی برای بیان صحت قضاوت از پارامتر $(C_{F_{ij}})$ استفاده می‌شود که اندازه‌ای از درجه درستی (صحت) را نشان می‌دهد و تا به حال در سیستم‌های خبره به کار گرفته شده است. عدم قطعیت مقدار x_{ij} نیز با بیان فازی آن به صورت $\widetilde{x}_{ij}$ اعمال می‌شود. عدم قطعیت موجود در مقادیر در این الگو با $(C_{F_{ij}})$ به صورت نرمال‌سازی شده و در بازه $[۰-۱]$ بیان شده است، که صفر نشان دهنده عدم قطعیت کامل به بیان قضاوت و یک نشان دهنده اطمینان کامل به قضاوت فرد تصمیم گیرنده است. هدف دیگر از افزودن شاخص $(C_{F_{ij}})$ در ماتریس تصمیم و بیان دو بعدی آن، در نظر گرفتن دیدگاه‌های مختلف تصمیم‌گیر (ریسک‌گریزی و یا ریسک‌پذیری) است. در مورد انتخاب روش استخراج، ریسک‌گریزی و یا ریسک‌پذیری بیشتر به استراتژی شرکت سرمایه‌گذار معدنی باز می‌گردد. با تعریف این پارامتر، مدل را می‌توان با رویکردهای مختلف با توجه به دیدگاه‌های سرمایه‌گذار حل کرد. برای بیان درجه قطعیت هر قضاوت به علت وجود ابهام در آن تعیین یک مقدار قطعی برای $(C_{F_{ij}})$ به سادگی مقدور نیست. بنابراین $(C_{F_{ij}})$ معمولا به صورت یک متغیر زبانی یا یک عدد فازی $(\widetilde{C}_{F_{ij}})$ نشان داده شده است. در الگوی جامع برای در نظر گرفتن این ابهام، $C_{F_{ij}}$ به صورت یک متغیر بیانی فرض شده است. تصمیم گیرنده برای بیان این عدم قطعیت می‌تواند از هر یک از انواع اعداد فازی استفاده کند. واژه‌های مرتبط با متغیر زبانی درجه قطعیت در جدول ۴-۱۰ ارایه و در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.

1- Partial ignorance

جدول ۴-۱۰- عبارات بیانی پیشنهادی برای درجه اطمینان

امتیاز	اعداد فازی
کاملا نامطمئن	(۰،۰،۰/۲)
نامطمئن	(۰/۰،۱/۰،۲۵/۴)
مردد	(۰/۰،۷/۰،۵/۳)
مطمئن	(۰/۰،۹/۰،۷۵/۶)
کاملا مطمئن	(۰/۱،۱،۸)



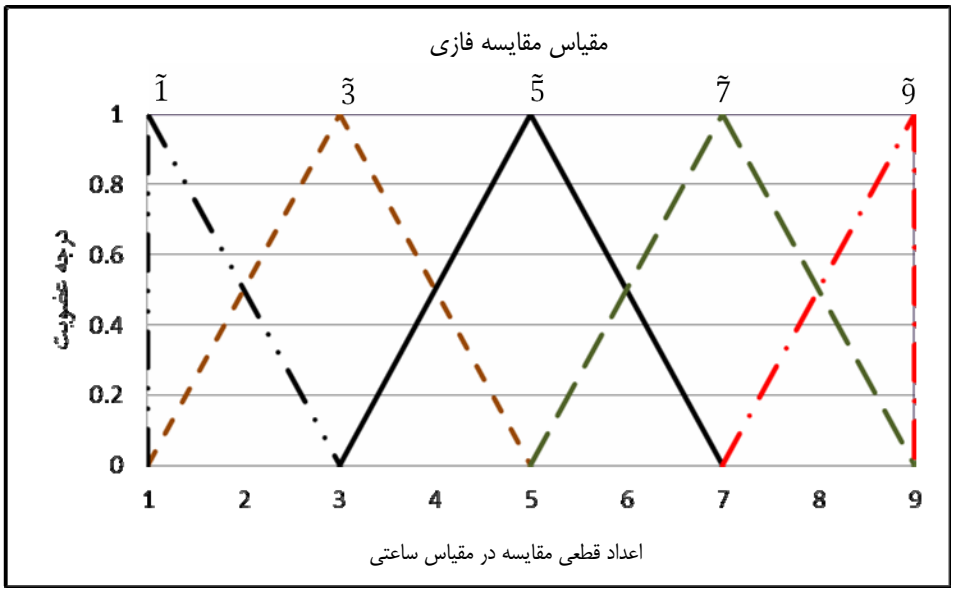
شکل ۴-۴- عبارات بیانی مرتبط با متغیرهای بیانی درجه اطمینان

برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در مقایسه زوجی شاخص‌ها توسط کاربر، از مقیاس مقایسه فازی (بیانی) استفاده شده است. این مقیاس مفهوم توسعه یافته‌ای از مقیاس (قطعی) ساعتی است که در آن برای مقایسه به جای مقادیر قطعی از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود. در جدول ۴-۱۱ مقیاس مقایسه فازی شاخص‌ها ارایه شده است.

جدول ۴-۱۱- مقیاس فازی به منظور مقایسه زوجی شاخص‌ها

شرح اهمیت	مقیاس مقایسه	توابع عضویت	دامنه توابع عضویت	معکوس عدد فازی	عدد فازی
اهمیت c_1 و c_2 کاملا	1	(3-x)/(3-1)	$1 \le x \le 3$	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
اهمیت c_1 و c_2 نسبتا	$\tilde{1}$	(x-1)/(3-1)	$1 \le x \le 3$	(۱/۱،۱،۳)	(۱،۱،۳)
c_1به طور ضعیفی	$\tilde{3}$	(5-x)/(5-3)	$3 \le x \le 5$	(۱/۱،۵/۱،۳)	(۵،۳،۱)
c_1 به صورت نسبتا	$\tilde{5}$	(x-3)/(5-3)	$3 \le x \le 5$	(۱/۱،۷/۱،۵/۳)	(۳،۵،۷)
c_1 مهم‌تر از c_2	$\tilde{7}$	(7-x)/(7-5)	$5 \le x \le 7$	(۱/۱،۹/۱،۷/۵)	(۵،۷،۹)
c_1 به شدت مهم‌تر از	$\tilde{9}$	(x-5)/(7-5)	$5 \le x \le 7$	(۱/۱،۹/۱،۹/۷)	(۹،۷،۹)
c_1 کاملا مهم‌تر از c_2	9	(9-x)/(9-7)	$7 \le x \le 9$	(۱/۱،۹/۱،۹/۹)	(۹،۹،۹)
		(x-7)/(9-7)	$7 \le x \le 9$		

در شکل ۴-۵ مقیاس مقایسه فازی استفاده شده در این الگو و مقیاس مقایسه قطعی ساعتی نشان داده شده است. از اعداد فازی یاد شده به منظور بیان عدم قطعیت در مقایسه‌های زوجی تصمیم گیرنده استفاده شده است.



شکل ۴-۵- مقیاس‌های مقایسه فازی تعریف شده در الگو و قطعی ساعتی

وزن انتروپی[1] یک مفهوم آماری از نمایش عدم قطعیت[2]/ بی‌نظمی[3] در مجموعه‌ای از اطلاعات است که از آنالیز احتمالات گسسته توزیع اطلاعات به دست می‌آید و با کارهای مهندسی که اطلاعات ورودی دارای خطاهای سیستماتیک باشد، سازگاری زیادی دارد. علاوه بر آن، روش انتروپی قادر به اعمال تقدم‌های تصمیم گیرنده در آنالیز حساسیت و کنترل مجدد نتیجه انتخاب است. اولین قدم در محاسبه وزن شاخص‌ها، محاسبه انتروپی موجود در ماتریس تصمیم است. از این روش برای محاسبه وزن نسبی[4] بین اطلاعات موجود استفاده می‌شود. انتروپی ممکن است برای ماتریس تصمیم شامل مجموعه گزینه‌ها و شاخص‌ها به کار برده شود. بنابراین از مفهوم انتروپی می‌توان برای ارزیابی شاخص‌ها و تعیین وزن شاخص jزام استفاده کرد.

اگر $\tilde{x}_{ij}$ یک عدد مثلثی فازی باشد به طوری که $\tilde{x}_{ij}=(m_{ij}^{x},l_{ij}^{x},u_{ij}^{x})$ در این صورت ماتریس نرمال‌سازی شده (با بردار یاد شده) تصمیم یا ماتریس $P_{m\times n}$ نیز به صورت فازی $\tilde{P}_{m\times n}$ خواهد بود و درآیه‌های آن از روابط ۴-۴ محاسبه می‌شود:

$$\tilde{p}_{ij}=(m_{ij}^{p},l_{ij}^{p},u_{ij}^{p}) \qquad (۴-۴)$$

$$m_{ij}^{p}=\frac{m_{ij}^{x}}{Max(\sum_{k=1}^{m}m_{kj}^{x},\ \sum_{k=1}^{m}l_{kj}^{x},\ \sum_{k=1}^{m}u_{kj}^{x})}$$

$$l_{ij}^{p}=\frac{l_{ij}^{x}}{Max(\sum_{k=1}^{m}m_{kj}^{x},\ \sum_{k=1}^{m}l_{kj}^{x},\ \sum_{k=1}^{m}u_{kj}^{x})}$$

$$u_{ij}^{p}=\frac{u_{ij}^{x}}{Max(\sum_{k=1}^{m}m_{kj}^{x},\ \sum_{k=1}^{m}l_{kj}^{x},\ \sum_{k=1}^{m}u_{kj}^{x})}$$

1- Entropy weight method
2- Unreliability
3- Disorder
4- Relative weight

و چون در اعداد فازی مثلثی داریم:

$$u_{ij}^{x} > l_{ij}^{x} > m_{kj}^{x} \;\; \forall i, j \mid i = 1,..,m \;\; and \;\; j = 1,..,n \qquad (۵-۴)$$

$$\Rightarrow \sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x} > \sum_{k=1}^{m} l_{kj}^{x} > \sum_{k=1}^{m} m_{kj}^{x}$$

بنابراین به طور خلاصه می‌توان نوشت:

$$m_{ij}^{p} = \frac{m_{ij}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \;\; l_{ij}^{p} = \frac{l_{ij}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \;\; u_{ij}^{p} = \frac{u_{ij}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}} \qquad (۶-۴)$$

بنابر این ماتریس فازی $\widetilde{P}_{m\times n}$ را می‌توان به شکل رابطه ۴-۷ نشان داد:

$$\widetilde{P}_{m\times n} = \begin{bmatrix} \widetilde{p}_{11} & \widetilde{p}_{12} & \cdots & \widetilde{p}_{1j} & \cdots & \widetilde{p}_{1n} \\ \widetilde{p}_{21} & \widetilde{p}_{22} & \cdots & \widetilde{p}_{2j} & \cdots & \widetilde{p}_{2n} \\ & & \ddots & & & \\ \vdots & \vdots & & \widetilde{p}_{ij} & & \vdots \\ & & & & \ddots & \\ \widetilde{p}_{m1} & \widetilde{p}_{m2} & \cdots & \widetilde{p}_{mj} & \cdots & \widetilde{p}_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۷-۴)$$

با توجه به تعریف اعداد فازی مثلثی ماتریس فازی $\widetilde{P}_{m\times n}$ را می‌توان به صورت رابطه ۴-۸ ساده کرد:

$$\widetilde{P}_{m\times n} = \begin{bmatrix} (m_{11}^{p}, l_{11}^{p}, u_{11}^{p}) & (m_{12}^{p}, l_{12}^{p}, u_{12}^{p}) & \cdots & (m_{1j}^{p}, l_{1j}^{p}, u_{1j}^{p}) & \cdots & (m_{1n}^{p}, l_{1n}^{p}, u_{1n}^{p}) \\ (m_{21}^{p}, l_{21}^{p}, u_{21}^{p}) & (m_{22}^{p}, l_{22}^{p}, u_{22}^{p}) & \cdots & (m_{2j}^{p}, l_{2j}^{p}, u_{2j}^{p}) & \cdots & (m_{2n}^{p}, l_{2n}^{p}, u_{2n}^{p}) \\ & & & \ddots & & \\ \vdots & \vdots & & (m_{ij}^{p}, l_{ij}^{p}, u_{ij}^{p}) & & \vdots \\ & & & & \ddots & \\ (m_{m1}^{p}, l_{m1}^{p}, u_{m1}^{p}) & (m_{m2}^{p}, l_{m2}^{p}, u_{m2}^{p}) & \cdots & (m_{mj}^{p}, l_{mj}^{p}, u_{mj}^{p}) & \cdots & (m_{mn}^{p}, l_{mn}^{p}, u_{mn}^{p}) \end{bmatrix} \qquad (۸-۴)$$

برای نرمال‌سازی کردن ماتریس فازی $\widetilde{P}_{m\times n}$ رابطه ۴-۷ در ۴-۸ قرار داده و رابطه ۴-۹ به دست می‌آید:

$$\widetilde{P}_{m\times n} = \begin{bmatrix} \left(\frac{m_{11}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}, \frac{l_{11}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}, \frac{u_{11}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}\right) & \left(\frac{m_{12}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}, \frac{l_{12}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}, \frac{u_{12}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}\right) & \cdots & \left(\frac{m_{1j}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{l_{1j}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{u_{1j}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}\right) & \cdots & \left(\frac{m_{1n}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}, \frac{l_{1n}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}, \frac{u_{1n}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}\right) \\ \left(\frac{m_{21}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}, \frac{l_{21}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}, \frac{u_{21}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}\right) & \left(\frac{m_{22}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}, \frac{l_{22}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}, \frac{u_{22}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}\right) & \cdots & \left(\frac{m_{2j}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{l_{2j}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{u_{2j}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}\right) & \cdots & \left(\frac{m_{2n}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}, \frac{l_{2n}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}, \frac{u_{2n}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}\right) \\ & & \ddots & & & \\ \vdots & \vdots & & \left(\frac{m_{ij}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{l_{ij}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{u_{ij}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}\right) & & \vdots \\ & & & & \ddots & \\ \left(\frac{m_{m1}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}, \frac{l_{m1}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}, \frac{u_{m1}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k1}^{x}}\right) & \left(\frac{m_{m2}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}, \frac{l_{m2}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}, \frac{u_{m2}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{k2}^{x}}\right) & \cdots & \left(\frac{m_{mj}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{l_{mj}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}, \frac{u_{mj}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kj}^{x}}\right) & \cdots & \left(\frac{m_{mn}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}, \frac{l_{mn}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}, \frac{u_{mn}^{x}}{\sum_{k=1}^{m} u_{kn}^{x}}\right) \end{bmatrix} \qquad (۹-۴)$$

ماتریس ارایه شده در رابطه ۴-۹ ماتریس نرمال‌سازی شده فازی است. دلیل انتخاب این بردار برای نرمال‌سازی کردن ماتریس، لزوم باقی ماندن مقادیر به شکل یک عدد فازی مثلثی است. به عبارت دیگر این نرم تضمین‌کننده آن است که:

$$u_{ij}^{p} > l_{ij}^{p} > m_{kj}^{p} \;\; \forall i, j \mid i = 1,..,m \;\; and \;\; j = 1,..,n \qquad (۱۰-۴)$$

انتروپی $\widetilde{e}_j$ برای شاخص C_j {j=1, 2,…n} برابر است با:

$$\widetilde{e}_j = -k\sum_{i=1}^{m}[\widetilde{P}_{ij} \otimes \ln(\widetilde{P}_{ij})] \qquad \{\forall j \big| j = 1,2,...,n\} \qquad (۱۱-۴)$$

درجه تنوع[1] $\widetilde{d}_J$ اطلاعات برای شاخص j ام توسط رابطه ۴-۱۲ به دست می‌آید:

$$\widetilde{d}_J = (1,1,1) - \widetilde{e}_J \qquad \forall j \qquad (۱۲-۴)$$

اگر $\widetilde{d}_J$ به صورت $\widetilde{d}_j = (m_j^d, l_j^d, u_j^d)$ فرض شود و $\widetilde{e}_j = (m_j^e, l_j^e, u_j^e)$ در آن صورت پارامترهای $\widetilde{d}_J$ از رابطه ۴-۱۳ حاصل خواهد شد:

$$\forall j \;\; \text{for} \;\; u_j^d = (1 - m_j^e) \;\; \text{and} \;\; l_j^d = (1 - l_j^e), \;\; m_j^d = (1 - u_j^e) \qquad (۱۳-۴)$$

در نهایت وزن انتروپی فازی با یک نرمال‌سازی نهایی از رابطه ۴-۱۴ به دست می‌آید:

$$\widetilde{\varphi}_j = \widetilde{d}_j \Theta(\sum_{j=1}^{n} \widetilde{d}_j) \qquad \forall j \qquad (۱۴-۴)$$

با استفاده از روش یاد شده بخشی از وزن یا اهمیت شاخص در فرآیند تصمیم‌گیری را که اساس آن انتروپی موجود در شاخص است، محاسبه می‌شود. یعنی اهمیت بیشتر به شاخص‌هایی با پراکندگی بیشتر در فرآیند تصمیم و اهمیت کمتر به شاخص‌هایی که مقادیر آن‌ها برای گزینه‌ها در ماتریس تصمیم به یکدیگر نزدیک‌تر است اختصاص می‌یابد. علت آن است که شاخصی که دارای مقادیر برابر برای گزینه‌های تصمیم است، باید حذف شود چون تاثیری در فرآیند تصمیم‌گیری نخواهد داشت. اگر در شاخصی کلیه عملکردها برای گزینه برابر باشد، وزن انتروپی آن شاخص صفر شده و آن شاخص خود به خود از روند تصمیم‌گیری حذف می‌شود.

در الگوی پیشنهادی نیاز به محاسبه وزن حاصل از مقایسه‌های زوجی و ارتباط درونی شاخص‌ها است. بنابراین در این مرحله ابتدا مقایسه زوجی شاخص‌ها بدون در نظر گرفتن ارتباط درونی پارامترها انجام می‌شود. مقایسات زوجی برای تعیین ارتباط بین شاخص‌ها با این سوال انجام می‌گیرد که "کدام یک از دو شاخص در فرآیند انتخاب روش استخراج اهمیت بیشتری دارد و چه مقدار مهم‌تر است؟" برای بیان این اهمیت در مقایسه زوجی پارامترها از مقیاس مقایسه فازی پیشنهادی در جدول ۴-۲ استفاده می‌شود. نتیجه این مقایسات زوجی ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها[2] $\widetilde{C} = [\widetilde{c}]_{n\times n}$ است. ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه ۴-۱۵ تعریف می‌شود:

$$\widetilde{C} = \begin{bmatrix} 1 & \widetilde{c}_{12} & \cdots & \widetilde{c}_{1(n-1)} & \widetilde{c}_{1n} \\ \widetilde{c}_{21} & 1 & \cdots & \widetilde{c}_{2(n-1)} & \widetilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \widetilde{c}_{(n-1)1} & \widetilde{c}_{(n-1)2} & \cdots & 1 & \widetilde{c}_{(n-1)n} \\ \widetilde{c}_{n1} & \widetilde{c}_{n2} & \cdots & \widetilde{c}_{n(n-1)} & 1 \end{bmatrix}_{n\times n} \qquad (۱۵-۴)$$

1- Degree of diversification
2- Pairwise comparison matrix

ماتریس $\widetilde{C}=[\widetilde{c}]_{n\times n}$ یک ماتریس مربعی با اطلاعات فازی است که درآیه[1] سطر iام و ستون jام آن یک عدد فازی بیانگر وزنی است که از مقایسه دو به دو شاخص سطر iام نسبت به شاخص ستون jام به دست می‌آید به طوری که شرایط زیر در مورد آن صادق است:

$$\widetilde{c}_{ij}=\begin{cases}1, & i=j\\ \widetilde{1},\widetilde{3},\widetilde{5},\widetilde{7},\widetilde{9} \quad or \quad \frac{1}{\widetilde{1}},\frac{1}{\widetilde{3}},\frac{1}{\widetilde{5}},\frac{1}{\widetilde{7}},\frac{1}{\widetilde{9}}, & i\neq j\end{cases} \qquad (۱۶-۴)$$

و همچنین:

$$\widetilde{c}_{ij}=1\big/\widetilde{c}_{ji} \qquad (۱۷-۴)$$

اگر ارزش شاخص ستون jام بیشتر از سطر iام باشد، از مقادیر کوچکتر از ۱ و اگر ارزش سطر iام از درایه ستون jام بیشتر باشد، از مقادیر بزرگتر از ۱ استفاده می‌شود. هر دو پارامتر فقط یک بار با یکدیگر مقایسه می‌شود. از مقدار عکس این ارزش برای مقایسه معکوس دو شاخص استفاده می‌کنند. بنابراین تعداد مقایسات زوجی مورد نیاز برابر n(n-1)/2 خواهد بود. روش حداقل مربعات لگاریتمی[2] برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی از فرمول ۴-۱۸ به دست می‌آید:

$$\widetilde{\omega}_k=(\omega_k^m,\omega_k^l,\omega_k^u) \qquad k=1,2,...,n \qquad (۱۸-۴)$$

به طوری که:

$$\omega_k^s=\frac{(\prod_{j=1}^{n}c_{kj}^s)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}(\prod_{j=1}^{n}c_{ij}^u)^{1/n}} \qquad s\in\{m,l,u\} \qquad (۱۹-۴)$$

قدم بعدی محاسبه ارتباط بین شاخص‌ها است. بسیاری از شاخص‌های موثر در انتخاب روش استخراج به یکدیگر وابسته‌اند و ارتباط درونی دارند. برای بیان همبستگی[3] شاخص‌های موثر در انتخاب از ماتریس وزن‌های همبستگی[4] یا ماتریس B استفاده می‌شود. اولین قدم در این مرحله، مشخص کردن تعداد شاخص‌های موثر بر یکدیگر و جهت تاثیر آن‌ها است. در بیشتر تصمیم‌گیری‌ها بین شاخص‌ها ارتباط‌های درونی وجود دارد. این ارتباط ممکن است یک طرفه یا دو طرفه باشد. یعنی علاوه بر اینکه شاخص اول بر شاخص دوم تاثیر دارد شاخص دوم نیز بر شاخص اول نیز تاثیرگذار است. برای نشان دادن ارتباط یک طرفه از فلش یک جهته و ارتباط دو طرفه از فلش دو جهته استفاده می‌شود. در قدم بعدی باید ماتریس وزن‌های همبستگی، که ارتباط درونی بین شاخص‌ها را بیان می‌کند محاسبه شود. در این الگو تاثیر هر یک از پارامترها بر روی پارامتر دیگر با مقایسه‌های زوجی به دست می‌آید. در این الگو ماتریسی که از حذف شاخص kام و مقایسه زوجی ارتباط درونی سایر شاخص‌ها نسبت به شاخص kام به دست می‌آید با $\widetilde{C}_{ck}$ نشان داده می‌شود. برای هموارسازی مقایسات زوجی یاد شده سوالاتی به شکل "کدام شاخص تاثیر بیشتری بر

1- Component
2- Logarithmic least squares method
3- Interdependency
4- Interdependence weight matrix

پارامتر C_k دارد، شاخص C_1 یا C_2، چقدر بیشتر؟"پرسیده می‌شود. برای اندازه‌گیری آن از مقیاس فازی استفاده می‌کنند. به علاوه، اگر تاثیر C_1 در مقایسه با C_2 بر C_k برابر باشد، از ۱ و اگر هر دو شاخص مستقل از شاخص C_k باشد از ارزش صفر استفاده می‌کنند.

اگر q تعداد شاخص‌های موثر از دیگر شاخص‌ها باشد، تعداد (q-1)(q-2)/2 مقایسه زوجی برای به دست آوردن هر یک از ماتریس‌های $\widetilde{C}_{ck}$ لازم است و چون باید به تعداد q ماتریس مقایسه $\widetilde{C}_{ck}$ محاسبه شود، در نهایت تعداد مقایسه‌های زوجی از رابطه ۴-۲۰ به دست می‌آید:

$$q(q-1)(q-2)/2 \qquad (۴-۲۰)$$

به این ترتیب ماتریس‌های مختلفی با توجه به پرسش یاد شده برای هر یک از شاخص‌هایی که از دیگر شاخص‌ها تاثیر می‌پذیرند تشکیل می‌شود:

$$\widetilde{C}_{ck} = [\widetilde{C}_{ck}]_{(n-1)\times(n-1)} \qquad \forall k = 1,\ldots..,n \qquad (۴-۲۱)$$

ماتریس فازی $\widetilde{C}_{ck}$ ماتریس مربعی است که از مقایسه زوجی اهمیت پارامترها در مقایسه با پارامتر c_k به دست می‌آید. بردار ویژه هر یک از این ماتریس‌ها ω^{ck} محاسبه می‌شود.

ماتریس‌های مقایسه زوجی بیان‌کننده تاثیرات نسبی ارتباطات بین پارامترها است. بردار ویژه هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی ω^{ck} محاسبه شده و سپس نرمال‌سازی می‌شود و به صورت ستونی در ستون kام ماتریس وزن همبستگی[1] $B_{n\times n}$ قرار داده می‌شود.

$$\widetilde{B}_{n\times n} = \begin{bmatrix} 1 & \widetilde{B}_{12} & \cdots & \widetilde{B}_{1j} & \cdots & \widetilde{B}_{1n} \\ \widetilde{B}_{21} & 1 & \cdots & \widetilde{B}_{2j} & \cdots & \widetilde{B}_{2n} \\ & & \ddots & & & \\ \vdots & \vdots & & 1 & & \vdots \\ & & & & \ddots & \\ \widetilde{B}_{n1} & \widetilde{B}_{n2} & \cdots & \widetilde{B}_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad (۴-۲۲)$$

و درآیه‌های آن از رابطه ۴-۲۳ حاصل می‌شود:

$$B_{ij} = \begin{cases} 1 & if \quad i = j \\ \omega_i^{cj} & if \quad i \neq j \end{cases} \qquad (۴-۲۳)$$

در قدم بعدی وزن‌های وابستگی شاخص‌ها با استفاده از نتایج حاصل از دو مرحله قبل به دست می‌آید:

$$\theta = B \times (\omega)^T \qquad (۴-۲۴)$$

در این رابطه بردار θ وزن شاخص با در نظر گرفتن ارتباط درونی بین شاخص‌ها و $(\omega)^T$ترانهاده[2] ماتریس ω است.

پس از محاسبه وزن‌ها، امتیازدهی نهایی گزینه‌ها بر اساس روش شباهت یا نزدیکی به حل ایده‌آل[1] TOPSIS انجام می‌گیرد. در این روش، گزینه‌ها بر اساس شباهت (نزدیکی) به حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند، به این ترتیب که هر چه گزینه شبیه‌تر به حل

1- Interdependence weight matrix
2- Transpose

ایده‌آل باشد رتبه بالاتری کسب می‌کند. در تعریف این روش از دو واژه "حل ایده‌آل"[۲] و "نزدیکی به حل ایده‌آل"[۳] استفاده شده است بنابراین ابتدا این مفاهیم را باید تعریف کرد. حل ایده‌آل "جوابی است که از هر نظر (کلیه شاخص‌ها) بهترین باشد" که عموما در عمل وجود ندارد و سعی می‌شود جواب انتخابی به آن نزدیک باشد. حل ضد ایده‌آل نیز گزینه فرضی است که به ازای حداقل مقادیر شاخص‌ها حاصل می‌شود.

مساله تصمیم‌گیری برای انتخاب روش استخراج شامل $i=\{1,2,...,m\}$ گزینه و $j=\{1,2,...,n\}$ شاخص است. ماتریس $\widetilde{D}=[\widetilde{x}_{ij}]_{m\times n}$ ماتریس تصمیم (عملکرد) و $\widetilde{W}=\{\widetilde{w}_j \mid j=1,2,...,n\}$ نشان دهنده بردار وزن به دست آمده در مراحل قبل است. مقادیر $\widetilde{x}_{ij}$ بیان‌کننده آهنگ عملکرد گزینه iام A_i نسبت به شاخص jام C_j است و $\widetilde{w}_j$ بیان‌کننده وزن شاخص jام است که به منظور بیان ابهام به صورت اعداد فازی مثلثی $\widetilde{x}_{ij}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})$ و $\widetilde{w}_j=(w_{j1},w_{j2},w_{j3})$ نشان داده شده‌اند.

برای نرمال‌سازی کردن ماتریس تصمیم، مقادیر $\widetilde{r}_{ij}$ با استفاده از روابط ۴-۲۵ و ۴-۲۶ نرمال‌سازی می‌شوند.

$$\widetilde{r}_{ij}=\left(\frac{a_{ij}}{c_j^+},\frac{b_{ij}}{c_j^+},\frac{c_{ij}}{c_j^+}\right),\qquad c_j^+=\max_i c_{ij},\qquad i=1,2,...,m;\ j\in\Omega_b \tag{۲۵-۴}$$

$$\widetilde{r}_{ij}=\left(\frac{a_j^-}{c_{ij}},\frac{a_j^-}{b_{ij}},\frac{a_j^-}{a_{ij}}\right),\qquad a_j^-=\min_i a_{ij}\qquad i=1,2,...,m;\ j\in\Omega_c \tag{۲۶-۴}$$

که در آن Ω_b و Ωc به ترتیب مجموعه شاخص‌های سود (مثبت) و زیان (منفی) است.

در مرحله بعدی ماتریس نرمال‌سازی شده وزن‌دار $\widetilde{V}=[\widetilde{v}_{ij}]_{m\times n}$ از رابطه ۴-۲۷ به دست می‌آید:

$$\widetilde{V}=R\times W^T \tag{۲۷-۴}$$

درآیه‌های ماتریس فوق از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\widetilde{v}_{ij}=\widetilde{r}_{ij}\times\widetilde{w}_j \tag{۲۸-۴}$$

در مرحله بعدی حل ایده‌آل A^+ و ضد ایده‌آل A^- از رابطه ۴-۲۹ و ۴-۳۰ به دست می‌آید:

$$A^+=(\widetilde{v}_1^+,\widetilde{v}_2^+,...,\widetilde{v}_n^+)=\left\{\max_i \widetilde{v}_{ij} \mid i=1,2,...,m \text{ and } j=1,2,...,n\right\} \tag{۲۹-۴}$$

$$A^-=(\widetilde{v}_1^-,\widetilde{v}_2^-,...,\widetilde{v}_n^-)=\left\{\min_i \widetilde{v}_{ij} \mid i=1,2,...,m \text{ and } j=1,2,...,n\right\} \tag{۳۰-۴}$$

مرحله بعدی به دست آوردن فاصله گزینه‌ها از حل‌های ایده‌آل d^+ و ضد ایده‌آل d^- است.

$$d_i^+=\sum_{j=1}^{n} d(\widetilde{v}_{ij},\widetilde{v}_j^+),\ i=1,2,...,m \tag{۳۱-۴}$$

$$d_i^-=\sum_{j=1}^{n} d(\widetilde{v}_{ij},\widetilde{v}_j^-),\ i=1,2,...,m \tag{۳۲-۴}$$

طبق تعریف فاصله دو عدد فازی $\widetilde{a}=(a_1,a_2,a_3)$ و $\widetilde{b}=(b_1,b_2,b_3)$ از رابطه ۴-۳۳ به دست می‌آید:

1- Technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)
2- Ideal solution
3- Closness to ideal solution

$$d(\tilde{a},\tilde{b})=\sqrt{\frac{1}{3}[(a_1-b_1)^2+(a_2-b_2)^2+(a_3-b_3)^2]} \quad (۳۴-۴)$$

این فواصل به صورت اعداد غیر فازی هستند و سپس مشابه حالت قبل مقدار RC_i محاسبه و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس آن انجام می‌گیرد.

پیوست

اعداد فازی

اعداد فازی مثلثی مجموعه خاصی از مجموعه‌های فازی هستند، $F=\{x\in R|\mu_F(x)\}$ که دامنه آن‌ها (مقادیر x) اعداد حقیقی $R:-\infty<x<+\infty$ و برد آن‌ها (مقادیر $\mu_F(x)$) در فاصله بسته $[0,1]$ است به طوری که دو شرط نرمال بودن و تحدب را داشته باشد:

الف) شرط نرمال بودن

$$\exists\ x\in R \qquad \mu_F(x)=1 \tag{پ-۱}$$

ب) شرط تحدب

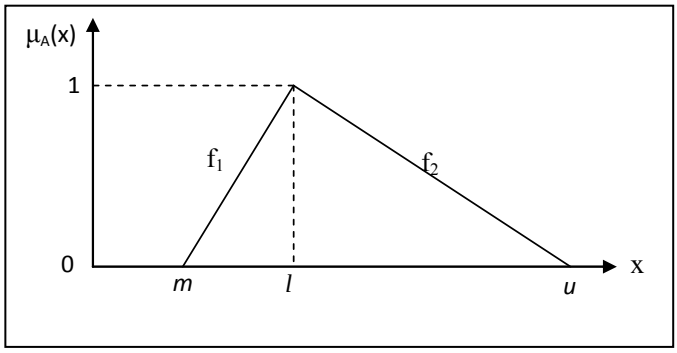
$$\forall x_1\in F, x_2\in F, \forall a\in[0,1] \qquad \mu_A\Big(ax_1+(1-a)x_2\Big)\geq \min\big(\mu_A(x_1),\mu_A(x_2)\big) \tag{پ-۲}$$

عدد فازی مثلثی $\widetilde{A}$ به صورت سه‌تایی $\widetilde{A}=(m,l,u)$ نشان داده شده و با تابع درجه عضویت رابطه پ-۳ مشخص می‌شود:

(پ-۳)

$$\mu_A(x):R\to[0,1] \qquad \mu_A(x)=\begin{cases}0 & x<m\\ (x-m)/(l-m) & m\leq x\leq l\\ (u-x)/(u-l) & l\leq x\leq u\\ 0 & x>u\end{cases}$$

که در آن: $m\leq x\leq l$ که به ترتیب m و u حداقل و حداکثر مقدار و l متوسط عدد فازی $\widetilde{A}$ است. نمایش عدد مثلثی فازی در شکل پ-۱ نشان داده شده است. که در آن f_1 تابع یال چپ و f_2 تابع یال راست آن است.



شکل پ-۱- عدد مثلثی فازی (m,l,u)

در ادامه عملگرهای اعداد فازی مثلثی استفاده شده در الگوی پیشنهادی بیان شده است:

معکوس عدد فازی مثلثی $\widetilde{A}=(m,l,u)$ از رابطه پ-۴ به دست می‌آید:

$$\frac{1}{\widetilde{A}}=\left(\frac{1}{u},\frac{1}{l},\frac{1}{m}\right) \tag{پ-۴}$$

مجموع دو عدد فازی مثلثی $\widetilde{A}_1=(m_1,l_1,u_1)$ و $\widetilde{A}_2=(m_2,l_2,u_2)$ از رابطه پ-۵ به دست می‌آید:

$$\widetilde{A}_1\oplus\widetilde{A}_2=(m_1+m_2,l_1+l_2,u_1+u_2) \tag{پ-۵}$$

ضرب هر عدد λ به طوریکه $\lambda>0$ و $\lambda\in R$ در عدد فازی مثلثی $\widetilde{A}=(m,l,u)$ از رابطه پ-۶ به دست می‌آید:

$$\lambda \times \widetilde{A} = (\lambda m, \lambda l, \lambda u) \quad (پ-۶)$$

ضرب دو عدد فازی مثلثی $\widetilde{A}_1 = (m_1, l_1, u_1)$ و $\widetilde{A}_2 = (m_2, l_2, u_2)$ از رابطه پ-۷ به دست می‌آید:

$$\widetilde{A}_1 \otimes \widetilde{A}_2 \cong (m_1 \times m_2, l_1 \times l_2, u_1 \times u_2) \quad (پ-۷)$$

تقسیم دو عدد فازی مثلثی $\widetilde{A}_1 = (m_1, l_1, u_1)$ و $\widetilde{A}_2 = (m_2, l_2, u_2)$ از رابطه پ-۸ به دست می‌آید:

$$\widetilde{A}_1 \Theta \widetilde{A}_2 = \widetilde{A}_1 \otimes \widetilde{A}_2^{-1} \cong (\frac{m_1}{u_2}, \frac{l_1}{l_2}, \frac{u_1}{m_2}) \quad (پ-۸)$$

عملگر لگاریتم عدد فازی مثلثی $\widetilde{A} = (m, l, u)$ از رابطه پ-۹ به دست می‌آید:

$$Ln(m, l, u) \cong \big(Ln(m), Ln(l), Ln(u)\big) \quad (پ-۹)$$

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	وضعیت
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های اکتشافی	**نشریه شماره ۳۲۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۲	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف زغال سنگ	**نشریه شماره ۳۵۱ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۳	دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی	**نشریه شماره ۳۷۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۴	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی	**نشریه شماره ۴۹۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۵	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سنگ آهن	**نشریه شماره ۵۳۶ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۶	دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی- اکتشافی بزرگ مقیاس رقومی (۱:۲۵۰۰۰)	**نشریه شماره ۵۳۲ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۷	علائم استاندارد نقشه‌های زمین‌شناسی	**نشریه شماره ۵۳۹ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۸	دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای(۱:۲۵۰۰۰)	**نشریه شماره ۵۴۰ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۹	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس	**نشریه شماره ۵۴۱معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۰	فهرست خدمات اکتشافی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (باریت، بنتونیت، زئولیت، سلستین، سیلیس، فلدسپار، فلوئورین)	**نشریه شماره ۵۶۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۱	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس سرب و روی	**نشریه شماره ۵۸۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۲	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی اکتشافی به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری در اکتشافات معدنی	**نشریه شماره ۵۹۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۳	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف آنتیموان	**نشریه شماره ۵۹۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۴	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی	**نشریه شماره ۵۹۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۵	فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی	**نشریه شماره ۶۱۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۶	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه سیمان	**نشریه شماره ۶۱۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۷	فهرست خدمات و دستورالعمل بررسی‌های چاه‌پیمایی	**نشریه شماره ۶۱۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۸	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، الکترومغناطیسی و پتانسیل خودزا در اکتشاف مواد معدنی	**نهایی**
۱۹	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف قلع	**در دست تدوین**
۲۰	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف تبخیری‌ها در شورابه‌ها و دریاچه‌ها	**در دست تدوین**
۲۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری فلزات آهنی و عناصر هم پاراژنز	**در دست تدوین**
۲۲	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف پتاس سنگی	**در دست تدوین**
۲۳	فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی- بخش ۱ (نسوزها): خاک نسوز، منیزیت- هونتیت، بوکسیت، نسوزهای آلومینو سیلیکاته (کیانیت، سیلیمانیت و آندالوزیت)، گرافیت، دولومیت	**در دست تدوین**
۲۴	فهرست خدمات اکتشاف عناصر کمیاب (عناصر نادر خاکی)	**در دست تدوین**
۲۵	دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک، صیقلی، نازک صیقلی و مطالعات سیالات درگیر برای نمونه‌های اکتشافی در آزمایشگاه	**در دست تدوین**
۲۶	دستورالعمل بررسی‌های ژئوشیمیایی به روش ژئوشیمیایی و ژئوبوتانی	**در دست تدوین**
۲۷	ضوابط طراحی و دستورالعمل اجرای حفریات اکتشافی سطحی	**در دست تدوین**
۲۸	دستورالعمل اکتشاف ناحیه‌ای طلا و سایر فلزات گرانبها به روش سبک	**در دست تدوین**
۲۹	راهنمای اکتشافات ژئوفیزیکی به روش رادیومتری در مراحل مختلف اکتشاف	**در دست تدوین**
۳۰	فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی- بخش ۳ (پرلیت، دیاتومیت، ورمیکولیت و شیل‌های منبسط شونده) فهرست خدمات اکتشافی	**در دست تدوین**
۳۱	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف منابع قرضه (شن و ماسه کوهی، سنگ لاشه و ...)	**در دست تدوین**
۳۲	دستورالعمل فعالیت زمین‌شناسی استخراجی	**در دست تدوین**

عناوین پروژه های کمیته استخراج برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	وضعیت
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های استخراجی	**نشریه شماره ۳۴۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۲	مقررات تهویه در معادن	**نشریه شماره ۳۵۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۳	دستورالعمل امداد و نجات در معادن	**نشریه شماره ۴۸۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۴	راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن	**نشریه شماره ۴۹۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۵	راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی	**نشریه شماره ۴۴۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۶	دستورالعمل فنی روشنایی در معادن	**نشریه شماره ۴۸۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۷	دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن	**نشریه شماره ۴۴۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۸	مقررات فنی آتشباری در معادن	**نشریه شماره ۴۱۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۹	دستورالعمل ترابری در معادن	**نشریه شماره ۵۰۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۰	دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدارسازی شیب‌ها در معادن روباز	**نشریه شماره ۵۳۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۱	دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن	**نشریه شماره ۵۳۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۲	راهنمای محاسبه قیمت تمام شده در فعالیت‌های معدنی	**نشریه شماره ۵۴۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۳	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونل‌های معدنی	**نشریه شماره ۵۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۴	دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج	**نشریه شماره ۵۳۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۵	راهنمای آبکشی در معادن	**نشریه شماره ۵۷۳ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۶	دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفریات زیرزمینی	**نشریه شماره ۵۷۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۷	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی	**نشریه شماره ۶۱۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۸	راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن	**نشریه شماره ۶۱۶ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور**
۱۹	راهنمای محاسبه بار و توزیع برق در معادن	**نهایی**
۲۰	دستورالعمل ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن	**نهایی**
۲۱	دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی	**نهایی**
۲۲	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم ابزاربندی و رفتارنگاری در معادن روباز	**در دست تدوین**
۲۳	ضوابط پر کردن فضاهای زیرزمینی	**در دست تدوین**
۲۴	راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی	**در دست تدوین**
۲۵	دستورالعمل کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معادن	**در دست تدوین**
۲۶	دستورالعمل گاززدایی در معادن ذغال سنگ	**در دست تدوین**
۲۷	دستورالعمل کنترل رقیق‌شدگی در معادن	**در دست تدوین**
۲۸	دستورالعمل ارزیابی و کنترل نشست در معادن	**در دست تدوین**
۲۹	دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری حفریات معدنی	**در دست تدوین**
۳۰	علایم استاندارد نقشه‌های استخراجی مواد معدنی	**در دست تدوین**
۳۱	دستورالعمل تخریب در کارگاه‌های استخراج	**در دست تدوین**
۳۲	دستورالعمل رفتارنگاری و ابزاربندی در معادن زیرزمینی	**در دست تدوین**
۳۳	راهنمای جانمایی و احداث تاسیسات سطحی در معادن	**در دست تدوین**
۳۴	راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی	**در دست تدوین**
۳۵	راهنمای متره و برآورد در فعالیت‌های استخراج معدنی	**در دست تدوین**

عناوین پروژه‌های فرآوری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	وضعیت
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های کانه‌آرایی	**نشریه شماره ۴۴۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۲	فهرست خدمات طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی	**نشریه شماره ۴۹۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۳	راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزئینی و نما	**نشریه شماره ۳۷۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۴	علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی	**نشریه شماره ۵۰۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۵	دستورالعمل مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	**نشریه شماره ۵۱۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۶	ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ	**نشریه شماره ۵۴۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۷	راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی	**نشریه شماره ۵۴۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۸	راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	**نشریه شماره ۵۵۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۹	راهنمای حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای کانه‌آرایی	**نشریه شماره ۵۶۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۰	شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی	**نشریه شماره ۵۶۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۱	راهنمای سنگ‌جوری مواد معدنی به روش‌های دستی یا خودکار	**نشریه شماره ۵۵۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۲	ضوابط و معیارهای انتخاب آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	**نشریه شماره ۵۸۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری**
۱۳	فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی	**در دست تدوین**
۱۴	دستورالعمل دانه‌بندی مواد معدنی	**در دست تدوین**
۱۵	راهنمای تعیین اندیس خردایش در آسیاهای مختلف	**در دست تدوین**
۱۶	دستورالعمل خردایش مواد معدنی	**در دست تدوین**
۱۷	معیارهای افزایش مقیاس (Scale up) واحدهای فرآوری	**در دست تدوین**
۱۸	راهنمای پذیرش و انبار نمونه در مقیاس آزمایشگاهی فرآوری مواد معدنی	**در دست تدوین**
۱۹	ضوابط و معیارهای قیمت‌گذاری خدمات آزمایشگاهی در فرآوری مواد معدنی	**در دست تدوین**
۲۰	دستورالعمل دفع آرسنیک، ترکیبات سولفیدی و سیانید در واحدهای فرآوری مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی	**در دست تدوین**
۲۱	دستورالعمل نمونه‌برداری در مقیاس‌های مختلف کانه‌آرایی	**در دست تدوین**
۲۲	معیارهای فنی کنترل بار ورودی، مواد در حال کانه‌آرایی و محصولات تولیدی در واحدهای کانه‌آرایی	**در دست تدوین**
۲۳	دستورالعمل ایمنی در واحدهای کانه‌آرایی	**در دست تدوین**
۲۴	ضوابط و معیارهای آماده‌سازی نمونه‌ها در فرآوری مواد معدنی	**در دست تدوین**
۲۵	راهنمای فنی کنترل و پایش تجهیزات فرآوری	**در دست تدوین**
۲۶	راهنمای آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های کانه‌آرایی	**در دست تدوین**
۲۷	راهنمای پذیرش و انبار نمونه در مقیاس آزمایشگاهی فرآوری مواد معدنی	**در دست تدوین**
۲۸	دستورالعمل جدایش ثقلی مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی	**در دست تدوین**
۲۹	راهنمای تهیه فهرست اسناد مناقصه پروژه‌های معدنی (فارسی– انگلیسی)	**در دست تدوین**
۳۰	راهنمای تهیه نرم‌افزار تعیین قیمت خدمات آزمایشگاهی	**در دست تدوین**

Islamic Republic of Iran

Ministry of Industry, Mine and Trade

Mining Technical Criteria Benchmarking Program

Guidelines for Selection of Mining Methods

(Publication No. **623**)
of
(Vice Presidency of Strategic Planning and Supervision)

49

Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries
http://www.mimt.gov.ir

Published by
Iranian Mining Engineering Organization
http://www.ime.org.ir

2013